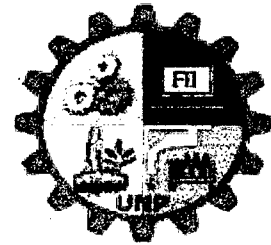
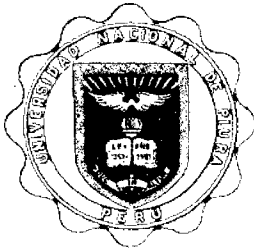


UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA



PROYECTO DE TESIS

**“ANÁLISIS Y DISEÑO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BRAZO
ROBOT CRS255 DEL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA”**

PRESENTADA POR:

BACH. LUIS EDER, PEREZ PAICO

ASESORADO POR:

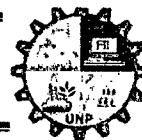
ING. LUIS A. CALDERON PINEDO

ING. ROBERT, ORE GALVEZ

Piura, 2013



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador de la Tesis denominada: «**ANÁLISIS Y DISEÑO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BRAZO ROBOT CRSA255 DEL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**», presentada por el señor **LUIS EDER PÉREZ PAICO**, Bachiller de la Escuela Profesional en Ingeniería Mecatrónica, asesorada por el Ing. Luis Alberto Calderón Pinedo y co asesorada por el Ing. Robert Oré Gálvez; reunidos para la sustentación de ésta y luego de escuchar su exposición y las respuestas a las preguntas formuladas, la declaran:



Con el Calificativo:

APROBADO

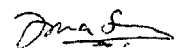
BUENO

En consecuencia el sustentante se encuentra apto para recibir el título profesional de **INGENIERO MECATRÓNICO**, conforme a Ley.

Piura, 25 de octubre del 2013


ING. JOSÉ JULIÁN PANAUÉ, MS.c.
PRESIDENTE - JURADO CALIFICADOR


ING. ROXANI KEEWONG ZAPATA, MS.c.
VOCAL - JURADO CALIFICADOR

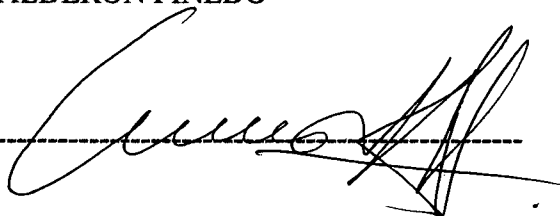

ING. JORGE FLORENTINO MA SAN ZAPATA, MS.c.
SECRETARIO - JURADO CALIFICADOR

Tesis presentada como requisito para optar el título de: INGENIERO MECATRÓNICO

Asesor:  _____

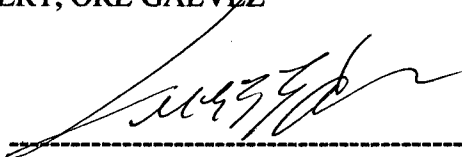
Firma

ING. LUIS A.CALDERON PINEDO

Co-asesor:  _____

Firma

ING. ROBERT, ORE GALVEZ

Tesista:  _____

Firma

BACH. LUIS EDER, PEREZ PAICO

A mi madre Celia Paico y abuela Sabina Ramírez

RESUMEN

El presente proyecto de tesis muestra el análisis y estudio realizado al controlador C500 y al brazo robótico CRS A255 para su funcionamiento. En el primer capítulo se define que es robótica y como esta se divide y ramifica; se logró identificar el tipo y categoría que tiene el brazo robótico CRS A255, además de los elementos en general que este tipo de robot posee para lograr su correcto funcionamiento y qué tipo de aplicaciones puede realizar; además se detalla las características de los dispositivos y elementos usados en el diseño para lograr su operatividad.

En el capítulo dos se analiza, estudia y describe el controlador C500 y el brazo robot CRS A255; las especificaciones generales de los motores y encoders, cuales son las características de los frenos y como se realiza la transmisión de movimiento a los ejes; el tipo de cables y conectores para la transmisión de señal. Además del análisis y realización de esquemas de funcionamiento del controlador para sus tres etapas, transformación, potencia-aislamiento y control.

En el capítulo tres se realizó las reparaciones a las averías encontradas del diagnóstico siendo el controlador C500 el más afectado por la presencia de varios componentes dañados, se realizaron las reparaciones que estas eran factibles, recuperándose varias etapas malogradas y poniendo en funcionamiento secciones del controlador.

Una vez realizado lo anterior y no consiguiendo reparar la tarjeta de control, que presenta problemas de programa en las memorias, se optó por el diseño de una interfaz de control; así se creó ICORO (Interfaz de Control Robótico) la cual fue concebida para adaptarse a la etapa de potencia del controlador C500 y poner en funcionamiento el brazo robot A255; este dispositivo controlado por palancas de mando (Joystick), se comprobó que ICORO puede adaptarse para controlar cualquier controlador robótico con PWM (Modulación por Ancho de Pulso).

Palabras clave: Brazo Robot A255, Controlador C500, ICORO.

ABSTRACT

This thesis shows the analysis and study the C500 controller and CRS A255 robotic arm. The first chapter is defined to robotics and how it divides, we identified the type and category of the CRS A255 robotic arm, addition to general elements of this type robot has for correct operation and what type of applications can make, also detailed the characteristics of the devices and elements used in the design to achieve an operation.

In chapter two analyzes, studies and describes the C500 controller and CRS A255 robot arm, the general specifications of the motors and encoders, what the characteristics of the brakes are and how to perform motion transmission the axes, the type cables and connectors for signal transmission. A realization of analysis and operation of the controller diagrams for his three stages, processing, isolation–power and control.

In chapter three, the repairs was made at diagnosis faults found C500 driver, being the most affected by the presence of several components damaged, repairs were made that were feasible, recovering several stages and put into operation sections to the controller

Once realized the above and not getting repair the control stage, which presents problems in the memoirs program, we chose the design of a control interface, and was created ICORO (Robotic Control Interface), which he was designed to be compatible to the power stage of the C500 controller and operate the A255 robot arm, this device is controlled by joysticks; it was verified that ICORO can be adapted to control any robotic controller with PWM (Pulse Width Modulation).

Key words: A255 Robot Arm, C500 Controller, ICORO.

Índice	Pág.
Índice de Figuras	V
Índice de Tablas	IX
Introducción	1
1. Marco teórico	2
1.1. Robótica	2
1.2. Robot	3
1.3 Clasificación de los robots	4
1.3.1. Clasificación según la generación	4
1.3.2. Clasificación atendiendo al número de ejes	4
1.3.3. Clasificación según la configuración	4
1.3.4. Clasificación según el tipo de control	5
1.3.4.1. Robot secuencial	5
1.3.4.2 Robot controlado por trayectoria	5
1.3.4.3 Robot adaptativo	5
1.3.5. Clasificación según la AFRI	
(Asociación Francesa de Robótica Industrial)	5
1.3.6. Clasificación Según la IFR (Federación Internacional de Robótica)	6
1.4. Estructura mecánica de un robot	6
1.5. Transmisiones	8
1.6. Reductores	9
1.7. Actuadores	9
1.7.1. Actuadores eléctricos	10

1.7.2. Motores de corriente continua (DC)	10
1.8. Sensor de posición.	11
1.9. Elementos terminales	14
1.10. Aplicaciones de la robótica	14
1.10.1. Clasificación según el tipo de interacción	15
1.10.2. Clasificación según las áreas de aplicaciones	15
1.11. Los microcontroladores	15
1.12. PIC C compiler 4.108	20
1.13. El DAC	21
1.14. El amplificador operacional (A.O. u OPAM)	22
1.15. La fuente de alimentación conmutada tipo ATX	23
1.16. Teleoperación por Palanca de mando o joystick	24
2. Estudio y descripción del brazo robot A255 y el controlador C500	26
2.1 Brazo robótico CRS A255	26
2.1.2. Especificaciones principales del brazo robot	27
2.2. Motores de accionamiento	30
2.2.1 Encoders ópticos incrementales	32
2.2.2 Frenos	33
2.3. Sistema de transmisión de movimiento	33
2.4. El gripper	34
2.5. Cables de transmisión	35
2.5.1. Conector de potencia para los motores	36
2.5.2 Conector para los encoders	38

2.5.3 Conector del servo gripper y gripper neumático	40
2.6 El controlador C500	41
2.6.1 Etapa de transformación	43
2.6.2. Etapa de potencia y aislamiento	49
2.6.2.1. La etapa de potencia	49
2.6.2.2. La etapa de aislamiento	51
2.6.3. La etapa de control	54
3. Diagnóstico de averías y reparaciones realizadas	57
3.1 Diagnóstico del brazo robot A255	57
3.2. El controlador C500	58
3.2.1. Diagnóstico y reparaciones en la entrada de alimentación	59
3.2.2. Diagnóstico y reparaciones en la etapa de transformación	61
3.2.3. Diagnóstico y reparaciones en la fuente de alimentación	61
3.2.4. Diagnóstico y reparaciones en la etapa de potencia	62
3.2.5. Diagnóstico y reparaciones en la etapa de aislamiento	64
3.2.6. Diagnóstico y reparaciones en la etapa de control	65
4. Diseño de la interfaz de control robótico (ICORO)	67
4.1. Diseño de ICORO (Interfaz de Control Robótico)	67
4.1.1. Esquema del mando o control	68
4.1.2. Esquemas de funcionamiento de ICORO	67
4.2. Diseño de la palanca de mando o joystick	69
4.2.1. Cálculo de corriente y potencia en los joysticks	71
4.3. Diseño del circuito de control	73

4.3.1 configuración y programación del PIC para la conversión A/D	74
4.4. Configuración del DAC0808	77
4.5. Frenos	82
Conclusiones	98
Recomendaciones	99
Bibliografía	100
Anexo 1 (Características de los motores del brazo robot A255)	102
Anexo 2 (Características de los encoders incrementales series LDA)	104
Anexo 3 (Características de los frenos eléctricos)	106
Anexo 4 (Códigos y significado que se expone en el panel de estado del controlador C500)	108
Anexo 5 (Características del Filtro 10ESK1)	109
Anexo 6 (Características de los CI SG3524 y LM324)	111
Anexo 7 (Características de los Mosfet utilizados en el proyecto)	114
Anexo 8 (Interior de los joysticks GeniusGamer para el prototipo de ICORO)	116
Anexo 9 (Características del DAC0808)	117
Anexo 10 (Niveles de corriente del microcontrolador PIC16F877A)	119
Anexo 11 (fuente ATX)	121
Glosario de siglas y abreviaturas	122

Índice de Figuras	Pág.
Figura 1.1. Robot industrial	3
Figura 1.2. Robot teleoperado	3
Figura 1.3 Robot explorador	3
Figura 1.4. Robot de cadena cinemática cerrada	7
Figura 1.5. Robot de cadena cinemática abierta (Brazo robot A255)	7
Figura 1.6. Encoder óptico	13
Figura 1.7. Señales incrementales A, B y Z	13
Figura 1.8. Pinout del PIC16F877A	16
Figura 1.9. Detalles del SRAM y la ubicación de los puertos del PIC16F877A	17
Figura 1.10. Conversor A/D de aproximaciones sucesivas	19
Figura 1.11. Configuración para las entradas al módulo ADC	20
Figura 1.12. Entorno de programación PCW de PIC C	21
Figura 1.13. Pinout del CI DAC0808	22
Figura 1.14. Pinout del CI LM324	22
Figura 1.15. Fuente Conmutada ATX HALION	23
Figura 1.16. Controlador del sistema de teleoperación	24
Figura 1.17. Joystick industriales	24
Figura 1.18. Circuito de conexión interna de los potenciómetros	25
Figura 2.1. Partes del brazo robot A255-junturas	26
Figura 2.2. Espacio de trabajo vista de perfil del A255	29
Figura 2.3. Espacio de trabajo vista de planta del brazo robot A255	29
Figura 2.4. Brazo robot CRS A255 de la Universidad Nacional de Piura	30

Figura 2.5. Motor de accionamiento del brazo A255	31
Figura 2.6. Transmisión por cadenas del brazo robot A255	34
Figura 2.7. Servo griper del A255	35
Figura 2.8. Conexión de los cables umbilicales a la base del brazo	36
Figura 2.9. Conectores tipo hembra en la base del robot A255	36
Figura 2.10. Salida de potencia de los motores del controlador C500 y Puesta a tierra	37
Figura 2.11. Entrada de señales de encoder al controlador C500 y puesta a tierra	38
Figura 2.12. Conexión del gripper al brazo robot	41
Figura 2.13. Controlador C500 vista frontal	42
Figura 2.14. Selector de voltaje de alimentación	43
Figura 2.15. Esquema de funcionamiento de la etapa de transformación	44
Figura 2.16. Filtro 10 ESK1 y toroide	45
Figura 2.17. Funcionamiento de la tarjeta MSI #940729F	45
Figura 2.18. Toroide entradas y salidas de voltaje	46
Figura 2.19. Esquemas de activación del ventilador	46
Figura 2.20. Ubicación del toroide, ventilador y rele en el C500.	47
Figura 2.21. Tarjeta de condensador C5FBA 1.0	47
Figura 2.22. Fuente de alimentación TECTROL T070/10	48
Figura 2.23. Ubicación del toroide y fuente del controlador C500	48
Figura 2.24. Tarjeta R-PCB-952-0001 REV 2.0	49
Figura 2.25. Esquema de funcionamiento del puente H del CRS A255	50
Figura 2.26. Etapa de aislamiento del controlador C500	51

Figura 2.27. Conectores SYSIO y GPIO	51
Figura 2.28. Diagrama de funcionamiento de la etapa de transformación	53
Figura 2.29. Tarjeta controladora R-PCB-C5CTR 3.0	55
Figura 3.1. Brazo robot CRS A255 del laboratorio de la Universidad Nacional de Piura	56
Figura 2.29. Diagrama de funcionamiento de la etapa de control	55
Figura 3.1. Brazo robot CRS A255 del laboratorio de la Universidad Nacional de Piura	57
Figura 3.2. Diagrama del proceso de verificación	58
Figura 3.3. Caja selectora de voltaje y fusible dañado	59
Figura 3.4. Filtro 10ESK1	59
Figura 3.5. Tarjeta MSIH#940729F	60
Figura 3.6. Pista dañada de la tarjeta MSIH#940729F	60
Figura 3.7. Salidas de voltaje de la fuente TECTROL T070/10	62
Figura 3.8. Ubicación y remplazo de los transistores MOSFET dañados	63
Figura 3.9. Ubicación del diodo zener 1N4733	63
Figura 3.10. Ubicación de los generadores PWM en la placa R-PCB-952-0001 REV 2.0	64
Figura 3.11. Ubicación de las memorias y cristales externos de la etapa de control	65
Figura 4.1. Funcionamiento del brazo robot A255 con ICORO	67
Figura 4.2. Lógica del funcionamiento del joystick	68
Figura 4.3. Diagrama del control para frenos	68

Figura 4.4. Diagrama para el control de los motores	69
Figura 4.5. Joysticks prototipo geniusgamer	70
Figura 4.6. Circuito interno de los joystick	71
Figura 4.7 configuración del PIC para la conversión A/D	73
Figura 4.8. Configuración conversión digital-analógico	77
Figura 4.9. Configuración circuito diferencial	79
Figura 4.10. Configuración para circuito diferencial salida fija	79
Figura 4.11. Curva de valores de V_{out} vs V_{in}	80
Figura 4.12. Circuito completo de acondicionamiento digital-analógico	81
Figura 4.13. Circuito de desactivación de freno recomendado por el fabricante	82
Figura 4.14. Circuito completo desactivación de freno automático	85
Figura 4.15. Asignación de los ejes del joystick para los puentes H	86
Figura 4.16. Lógica de activación y desactivación de los frenos de motor	87
Figura 4.17. Diagrama del microcontrolador activación de frenos	88
Figura 4.18. Diagrama electrónico de ICORO	97

Índice de Tablas	Pág.
Tabla 1.1. Clasificación de los robots según la AFRI (Asociación Francesas de Robótica Industrial)	5
Tabla 1.2. Sistemas de transmisión para robots	8
Tabla 1.3. Características de las articulaciones	9
Tabla 1.4. Herramientas terminales para robots	14
Tabla 1.5. Tipos de osciladores para los PIC	18
Tabla 1.6. Niveles de tensión de la fuente ATX HALION	23
Tabla 2.1. Especificaciones generales	27
Tabla 2.2. Rango de manejo de articulaciones	27
Tabla 2.3. Medidas del brazo robot	28
Tabla 2.4. Velocidad de articulaciones al 100% velocidad programada (Rad/seg)	28
Tabla 2.5. Par de torsión continuo para cada articulación	28
Tabla 2.6. Rango de aceleración predeterminado de articulaciones Rad/seg ²	28
Tabla 2.7. Especificaciones ambientales de trabajo	27
Tabla 2.8. Descripción de los motores dc del brazo robot A255	31
Tabla 2.9. Motores de las articulaciones 2, 3, 4,5 y traslación	32
Tabla 2.10. Encoder de las articulaciones 2, 3,4 y 5	33
Tabla 2.11. Características del encoder óptico incremental	33
Tabla 2.12. Relación de reducción para cada articulación	34
Tabla 2.13. Suministro de energía a los motores del brazo A255	37
Tabla 2.14. Configuración del conector de señal de encoders y frenos	38
Tabla 2.15. Características de la etapa de control	54

Tabla 3.1 reguladores de la fuente TECTROL T070/10	61
Tabla 4.1 configuración de los puertos DB9	71
Tabla 4.2. Valores de los componentes internos del Joystick 1	72
Tabla 4.3. Valores de los componentes internos del Joystick 2	72
Tabla 4.4. Relación de los potenciómetros y los ejes del brazo robot	96

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la robótica no es un lujo es una necesidad, desde las industrias a los hogares los robots se han vuelto indispensables; mejorando la calidad de vida y ayudando a tener mejores condiciones laborales, estos pueden realizar tareas repetitivas o trabajar en condiciones peligrosas y mortales para un ser humano; como su nombre lo dice Robota (trabajo), estos están hechos para ayudarnos en el trabajo.

En la actualidad los robots industriales son los más empleados, están presentes en casi todas las fábricas que posean cierto grado de automatización, por lo que es necesario que los ingenieros, técnicos y personas que trabajen alrededor de ellos posean cierto grado de conocimiento de robótica y así evitar accidentes.

El laboratorio de mecatronica de la Universidad Nacional de Piura cuenta con un brazo robot CRS A255 de cinco grados de libertad, el cual en un tiempo fue útil en el aprendizaje de los alumnos, brinda la posibilidad de entender cómo opera un robot industrial. Debido a un fallo eléctrico ocasionado por la falta de sistemas de protección como un punto de baja impedancia, estabilizador y supresor de pico este fue presentando inconvenientes hasta que dejó de funcionar.

En este proyecto de tesis se analizaron los elementos que conforman el brazo robot A255 y el controlador C500, se realizó el diagnóstico de sus principales partes y se repararon las secciones dañadas con el fin de poner en funcionamiento el brazo robot, como esto no tuvo el alcance esperado se creó una interfaz de control llamado ICORO (Interfaz de Control Robótico) la cual se diseñó pensando en los requerimientos del controlador C500, este además puede adaptarse a cualquier etapa de potencia que utilice PWM para el control de motores DC y con su etapa de transformación digital-analógico se puede emplear equipos de programación como FPGA'S, Microcontroladores, DSP y otros.

CAPITULO 1

1. MARCO TEÓRICO.

1.1. ROBÓTICA.

El término robótica fue mencionado varias veces por el escritor estadounidense de ciencia ficción Isaac Asimov mencionando la palabra en varias narraciones, a él se le atribuye el acuñamiento de la palabra utilizándola para describir toda la tecnología asociada y conceptos referentes a los robots.

La imagen de robot que aparece en su obra es el de una máquina bien diseñada y con una seguridad garantizada, que actúa de acuerdo a tres principios.

Estos principios fueron denominados por Asimov las Tres Leyes de la Robótica, y son:

- Un robot no puede actuar contra un ser humano, o mediante la inacción, que un ser humano sufra daños.
- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, salvo que estén en conflictos con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que esté en conflicto con las dos primeras leyes.

Pero fue en una obra checoslovaca publicada en 1917 por Karel Kapek, denominada Rossum's Universal Robots, dio lugar al término robot. La palabra checa 'Robota' que significa servidumbre o trabajador forzado en el momento en que se tradujo al inglés se convirtió en el término "robot".

En base a su objetivo la robótica consiste en el diseño de sistemas, actuadores de locomoción, manipuladores, sistemas de control, sensores, fuentes de energía, software de calidad, todos los cuales tienen que ser diseñados para trabajar conjuntamente en la consecución de la tarea del robot.

1.2. ROBOT.

Entre las dificultades para definir un término formal de lo que es un robot industrial surge por las diferencias conceptuales entre el Mercado japonés y el euro-americano de lo que es un robot y un manipulador.

- Mercado japonés: Un robot es cualquier dispositivo mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a la manipulación.
- Mercado Occidental: Para nombrar a un manipulador como robot se requiere una mayor complejidad estructuralmente y en lo relativo al control.

Pero estos conceptos seguirán variando a medida que la robótica evolucione y se tendrá que ir actualizando la definición.

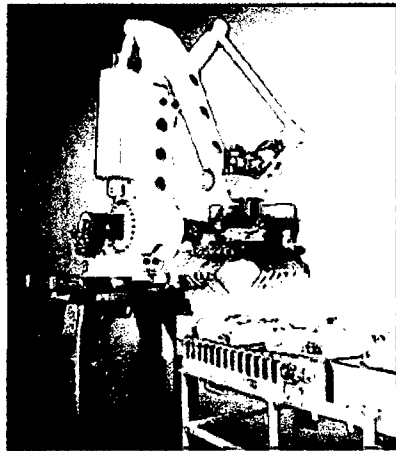


Figura 1.1. Robot Industrial

(Fuente: ABB Robotics).

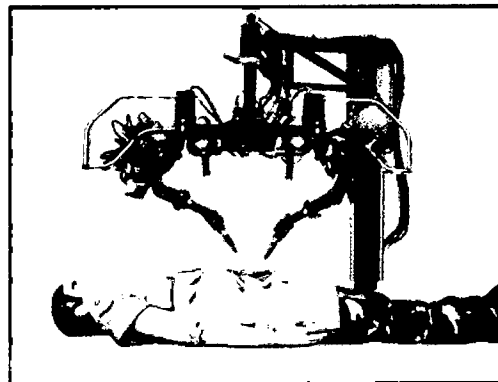


Figura 1.2. Robot Teleoperado

(Fuente: INEM).

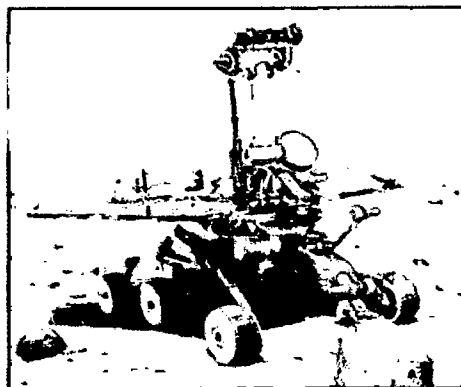


Figura 1.3 Robot Explorador (Fuente: NASA).

1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS.

Para las clasificaciones tampoco existe un estándar mundial diferentes instituciones, países y organismos crearon sus clasificaciones, aquí mencionaremos las más usadas.

1.3.1. Clasificación según la generación

Hace referencia al momento tecnológico cuando este es creado, la siguiente generación será dada por el avance significativo que impulsen nuevas creaciones.

- Primera generación: Repite la tarea programada secuencialmente no toma en cuenta las alteraciones de su entorno (Figura 1.1).
- Segunda generación: Adquiere información de su entorno y actúa en consecuencia puede localizar, clasificar y detectar esfuerzos actuando en consecuencia (Figura 1.3).
- Tercera generación: Su programación se realiza mediante el empleo de lenguaje natural posee la capacidad de planificación de tareas automáticas.

1.3.2. Clasificación atendiendo al número de ejes

Esta característica es aplicable a los robots o tele robots en cadena cinemática es decir de dos ejes, tres, cuatro y más, sería aplicable a los robots manipuladores pero no a los móviles.

1.3.3. Clasificación según la configuración

Sólo aplicable a robots con cadena cinemática abierta, aquí se muestran los tipos de configuraciones de robots

- Cartesiano
- Cilíndrico
- Polar o esférico
- Articular
- Scara
- Paralelo

1.3.4. Clasificación según el tipo de control

Según la norma ISO 8373 los robots se pueden clasificar de la siguiente manera:

1.3.4.1. Robot Secuencial

Robot con un sistema de control de movimiento que efectúa eje por eje en un orden dado, de tal forma que la finalización de un movimiento inicia el siguiente.

1.3.4.2 Robot controlado por trayectoria

Robot que ejecuta el movimiento de dos o más eslabones en un mismo intervalo de tiempo, siguiendo una trayectoria con el fin de alcanzar la siguiente posición.

1.3.4.3 Robot adaptativo

Robot que tiene función de control a través de sensores, control o función de aprendizaje. De este modo el robot puede modificar su tarea de acuerdo a la información captada del entorno, ya sea por visión artificial o por sensores de fuerza, contacto u otros tipos.

1.3.5. Clasificación según la AFRI (Asociación Francesa de Robótica Industrial)

En la tabla 1.1 se mencionan las clasificaciones dadas por la AFRI.

Tabla 1.1.

Clasificación de los robots según la AFRI.

	Clasificación de los robots según la AFRI
Tipo A	Manipulador con control manual o telemando
Tipo B	Manipulador automático con ciclos pre ajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
Tipo C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno.
Tipo D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea a función de estos.

Nota. Clasificaciones dadas por la AFRI en 1987, pero estas puedan variar en el futuro. Adaptado de <http://formacion.faico.org/Proyectos/ROBINDUSTRIA/RobotsIndustriales.htm>

1.3.6. Según la IFR (Federación Internacional de Robótica)

Ésta ha optado por definir a los robots en 4 tipos de tecnologías que puedan poseer.

- Robot secuencial:
Repite la misma acción una y otra vez hasta que se le pida detenerse.
- Robot de trayectoria controlable:
Se caracteriza por la precisión de sus movimientos en un espacio controlado.
- Robot adaptativo:
Se adapta a su entorno para cumplir con su objetivo.
- Robot telemanipulado o teleoperado:
Este es controlado por un humano a distancia (Figura 1.2).

1.4. ESTRUCTURA MECÁNICA DE UN ROBOT.

Mecánicamente, está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones, su estructura física guarda una similitud con la humana por eso se le suele nombrar a las partes del robot como cuerpo, brazo, codo y muñeca.

Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior, es denominada grado de libertad, estos se denominarán pares lineales o de primer grado.

Una cadena cinemática de un robot es una serie de eslabones unidos por articulaciones, la estructura mecánica de un manipulador constituye una cadena cinemática.

Cuando en una cadena cinemática se puede llegar de un eslabón a cualquier otro, al menos por dos caminos se dice que es una cadena cinemática cerrada (Ver figura 1.4).

En caso que solo haya un camino posible se dirá que se trata de una cadena cinemática abierta (Ver figura 1.5).

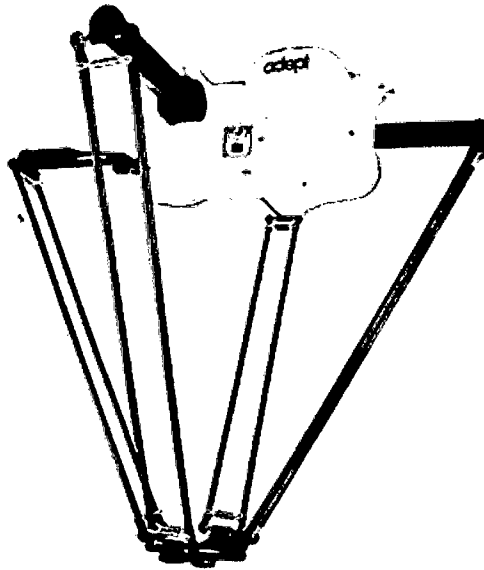
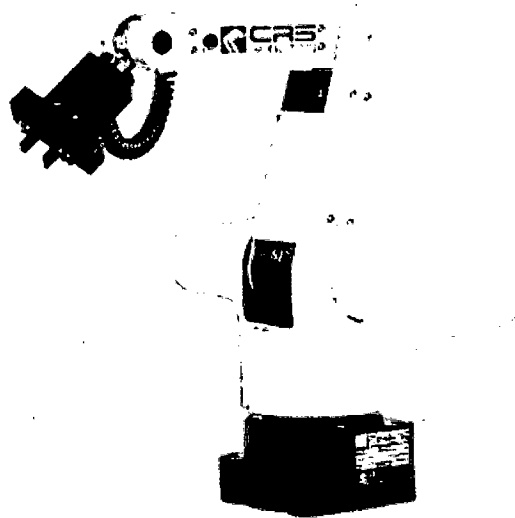


Figura 1.4. Robot de cadena cinemática cerrada (Fuente: Adept).



**Figura 1.5. Robot de cadena cinemática abierta
(Fuente: CRS Robotics Brazo Robot A255).**

1.5. TRANSMISIONES.

Las transmisiones se encargan de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones. También se pueden incluir a los reductores junto a las transmisiones, que son los encargados de adaptar el par y la velocidad de la salida del actuador con los valores adecuados para el movimiento de los elementos del robot. Esto se elige pensando en el mecanismo del robot y la carga que estos soportan; en la tabla 1.2 se mencionan los más utilizados sus ventajas e inconvenientes.

Tabla 1.2.

Sistemas de transmisión para robots.

Entrada-Salida	Denominación	Ventajas	Inconvenientes
Circular-circular	Engranaje Correa dentada Cadena Cable	Pares altos Distancia grande Distancia grande Distancia grande	Holguras rotativas - Ruido Deformación
Circular-Lineal	Tornillo sin fin Cremallera	Poca holgura Holgura media	Rozamiento Rozamiento
Lineal-Circular	Paralelo, Articulado cremallera	Holgura media	Control difícil Rozamiento

Nota. Adaptado de Craig, J. J. Robot Programming Languages and System: Introduction to Robotics Mechanics and Control.

- Cadenas: Son empleadas para transmitir movimientos circulares de un eje a otro.
- Cables: los cables realizan al igual que las cadenas; estas suelen ser menos imprecisas por la deformación que pueden llegar a sufrir.
- Correas: Utilizan la fricción entre las dos ruedas que enlazan.
- Enlaces Rígidos: Suelen emplearse entre un eje de entrada y otro de salida evitando imprecisiones.

1.6. REDUCTORES.

A los reductores utilizados en la robótica se les exige una condición de funcionamiento muy restrictivo. Las exigencias son motivadas por las altas prestaciones que se le pide al robot en cuanto a la precisión y velocidad de posicionamiento.

Los reductores deben ser de bajo peso, reducido tamaño, bajo rozamiento y que al mismo tiempo sean capaces de realizar una reducción elevada de velocidad.

En tabla 1.3 se muestran las características del robot A255 dados por el fabricante, como la relación de reducción de los engranajes, el torque que maneja y la máxima velocidad.

Tabla 1.3.

Características de las articulaciones.

Ejes	Rango de movimiento	Velocidad máxima	Aceleración por defecto	Relación engranajes	Par del motor
Joint1	+/- 175°	210°/s	498°/s ²	72:1	9.6N-m
Joint2	0°to+110°	210°/s	498°/s ²	-72:1	9.6N-m
Joint3	-125° a 0°	210°/s	498°/s ²	72:1	9.6N-m
Joint4	+/- 110°	675°/s	2240°/s ²	-16:1	2.7N-m
Joint5	+/- 180°	1350°/s	4490°/s ²	8:1	1.4N-m

Nota. s=segundos, N=newton, m=metros, Joint=Articulación. Adaptado de CRS Robotics. Adaptado del Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

1.7. ACTUADORES.

Los actuadores tienen por misión generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control. Los primeros robots industriales

utilizaban actuadores neumáticos e hidráulicos para mover sus elementos, siendo los neumáticos para cargas bajas e hidráulicas para cargas elevadas obteniéndose con este último mayor precisión, pero tienen principales inconvenientes como las fugas de aire y aceite. Las ventajas prácticas del uso de la electricidad como fuente de energía han motivado que en la actualidad la totalidad de los robots existentes utilicen motores eléctricos, incluso los robots de accionamiento directo son equiparables a la de los robots hidráulicos habiendo quedado estos en un segundo plano, en el robot A255 los actuadores son de tipo eléctrico DC.

1.7.1 Actuadores eléctricos

Las características de control ha hecho de este los más usados en robótica dentro de estos se pueden distinguir tres tipos diferentes.

- Motores de corriente continua (DC).
 - Controlado por inducido
 - Controlado por excitación
- Motores de corriente alterna (AC).
 - Síncrono
 - Asíncrono
- Motores de paso.

1.7.2 Motores de corriente continua (DC)

Han sido durante mucho tiempo los más utilizados, debido a su facilidad de control. La necesidad de mantenimiento, deriva del uso de escobillas y las limitaciones de par, motivadas por un riesgo de sobrecalentamiento, han hecho que se haya sustituido por motores de alterna o motores sin escobillas.

Los motores DC están constituidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimentan de corriente continua:

- El inductor, también denominado devanado de excitación, está situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado de excitación.

- El inducido situado en el rotor, hace girar el mismo debido a la fuerza de Lorentz que aparece como combinación de corriente circulante por él y del campo magnético de excitación.

La velocidad de giro del motor puede ser regulada, bien variando la tensión de alimentación del inducido como variando la del inductor.

Al aumentar la tensión del inducido aumenta la velocidad de la máquina. Si el motor esta alimentado a tensión constante, se puede variar la velocidad variando el flujo de excitación. Pero cuando más débil sea el flujo, menor será el par motor que se puede desarrollar para una intensidad de inducido constante. En el caso de control por inducido, la intensidad del inductor se mantiene constante. Mientras que la tensión del inducido se utiliza para controlar la velocidad de giro. En los controladores por excitación se actúa al contrario.

Además, en los motores controlados por inducido se produce un efecto estabilizador de la velocidad de giro, originado por la realimentación intrínseca que posee a través de la fuerza electromotriz. Por estos motivos de los dos tipos de motores DC es el controlado por inducido los que se utilizan en robótica. Para mejorar el comportamiento de ese tipo de motores, el campo de excitación se genera mediante imanes permanentes, con lo que se evitan fluctuaciones del mismo. Estos imanes son de aleación especial como samario-cobalto. Además para disminuir la inercia asociada a un rotor bobinado, como es el del inducido, se construye éste mediante una serie de espiras serigrafiadas en un disco plano. Este tipo de motor no posee masa térmica, ni capacidad de disipación del calor hacia el exterior lo que aumenta los problemas de sobrecalentamiento por sobrecarga.

Las velocidades de rotación que se consiguen con estos motores son del orden de 1000 a 3000 rpm con un comportamiento muy lineal y bajas constantes de tiempo, las potencias que pueden manejar puede llegar a los 10kW.

1.8. SENSOR DE POSICIÓN.

Para el control de la posición angular se emplea fundamentalmente los denominados encoders y resolvers. Los potenciómetros dan bajas prestaciones por lo que no se emplean, salvo en ocasiones como robots educativos y ejes de poca importancia.

➤ **Resolvers**

Se trata de captadores analógicos con resolución teóricamente infinita, su funcionamiento se basa en la utilización de una bobina solidaria al eje excitada por una portadora y dos bobinas fijas situadas a su alrededor.

➤ **Codificadores angulares de posición (Encoders)**

Los codificadores ópticos o encoders incrementales constan, en su forma más simple de un disco con una serie de marcas colocadas radialmente y equidistantes entre sí; un sistema cuya dirección de la luz es direccionada de forma correcta y de un elemento foto receptor. El eje cuya posición se quiere medir va acoplada al disco con esta disposición cada vez que el eje gire se irán generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese cada marca. Llevando la cuenta de estos pulsos se puede conocer la posición del eje ver (Figura 1.6).

Al tener una sola secuencia de pulsos no se puede medir el sentido de giro, para esto se requiere de otra franja de ranuras desplazadas de la anterior, de manera que esté desfasado 90° con respecto al generado por la primera.

De esta manera mediante un biestable del tipo (A), en el que la salida mantiene el valor de la entrada leída. Durante el flanco positivo del reloj, es posible obtener una señal adicional (B) que indique cual es el sentido de giro, y que actúe sobre el contador correspondiente indicando que incremente o decremente la cuenta que se está realizando (Ver figura 1.7).

Dado que el contador es incremental es preciso establecer cuál es el cero para lo cual se incorpora una marca de referencia adicional (Z) única en todos los trazos del disco que indique que se ha dado una vuelta completa y que por tanto se ha de reinicializar el contador.

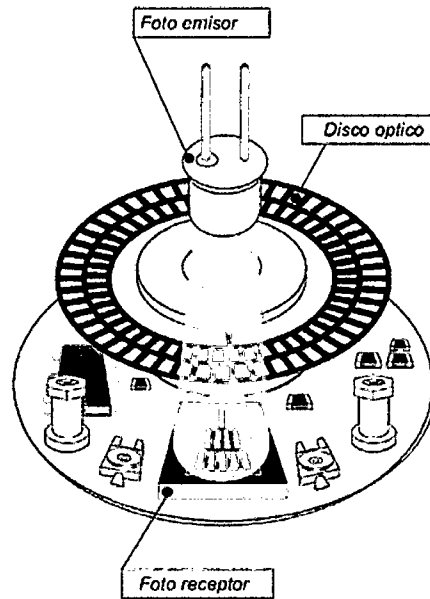
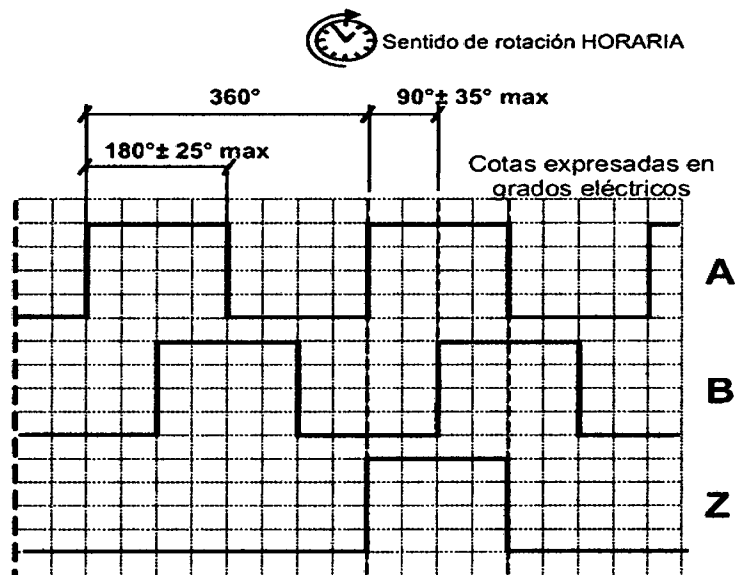


Figura 1.6. Encoder Óptico.



Representación gráfica de las señales incrementales A,B, y Z.

Figura 1.7. Señales Incrementales A, B y Z.

1.9. ELEMENTOS TERMINALES.

Para las diversas aplicaciones, las capacidades del robot deben ser aumentadas por medio de dispositivos como los periféricos del robot incluyéndose un herramental que se une a la muñeca, a este dispositivo se le denomina efector final.

Pueden ser pinzas o herramientas como se muestra en la tabla 1.4, las pinzas se utilizan para tomar un objeto, normalmente la pieza de trabajo y sujetarlo durante el ciclo de trabajo del robot. Hay una diversidad de métodos de sujeción como imanes, ventosas, ganchos y cucharas. Las herramientas se utilizan de efector final en aplicaciones en donde se exija al robot realizar alguna pieza de trabajo. Estas aplicaciones incluyen la soldadura por puntos, la soldadura por arco, la pintura y las operaciones de taladro estas herramientas están unidas a las muñecas para realizar las operaciones.

Tabla 1.4.

Herramientas terminales para robots.

Herramientas Terminales Para Robots.	
Tipo de Herramienta	Comentarios
Pinza soldadura por puntos	Dos electrodos que se cierran.
Soplete soldadura de arco	Aporta el flujo de electrodo que se funde.
Cucharón para colada	Para trabajos de fundición.
Atornillador	Sujeción de tornillos.
Fresa –lija	Para perfilar, pulir, etc.
Pistola de Pintura	Por pulverización de la pintura.
Cañón laser	Para corte de materiales, soldadura.
Cañón de agua de presión	Para corte de materiales.
Gripper	Para coger objetos.

Nota. Estas no son las únicas herramientas, se pueden adaptar o crear nuevas herramientas de acuerdo al trabajo a realizar.

1.10. APLICACIONES DE LA ROBÓTICA.

La federación internacional de robótica (IRF siglas en inglés) clasificación de la robótica según el tipo de interacción y el área de aplicación.

1.10.1. Clasificación según el tipo de interacción

- Servicio destinado a seres humanos, personal, seguridad, entretenimiento, etc.
- Servicio destinado al equipamiento mantenimiento, reparación, limpieza etc.
- Otro tipo de servicios: transporte, adquisición de datos y aquellos que no se relacionen con el servicio destinado a seres humanos.

1.10.2. Clasificación según las áreas de aplicaciones

- De limpieza: limpieza de ventanas, muros, tanques, suelos y demás.
- De alcantarillado: destinado a la limpieza de inspección.
- De inspección de plantas industriales, centrales nucleares, puentes y demás.
- Submarinos: destinados a todo tipo de trabajo bajo el agua.
- Domésticos: destinados a labores dentro de las casas particulares.
- De asistencia: ayuda para personas discapacitadas o con problemas de salud.
- De correo: destinados a la distribución automática de correo y mensajería.
- Móviles: destinados a múltiples usos.
- Guías: para la orientación en sitios museos zoológicos u oficinas.
- De agricultura: destinados a las labores de recolección, clasificación y reforestación.
- Espaciales: realizan tareas en el espacio.
- Entretenimiento: labores de entretenimiento recreacionales o educativos.

1.11. LOS MICROCONTROLADORES.

Uno de los dispositivos modernos con múltiples prestaciones en la actualidad es el microcontrolador PIC, este elemento se encuentra presente en el controlador de muchos equipos electrónicos.

El PIC (Control de Interfaz Periférico) es el microcontrolador más vendido en nuestra región y uno de los más económicos y accesibles, el PIC16F877A de Microchip Technology, Inc, creado en 2003 cuenta con una gran gama de aplicaciones en el área de la electrónica reduciendo tiempo y componentes en el diseño.

El más comercial es el Tipo DIP de 40 Pines (Ver figura 1.8), el PIC16F877A posee una arquitectura computacional tipo RISC (Conjunto De Instrucciones Reducidas) cuyo juego de instrucciones es de 35 para este tipo de microcontrolador, es decir con 35 instrucciones en lenguaje ensamblador podemos usar todas las prestaciones que nos ofrece el PIC.

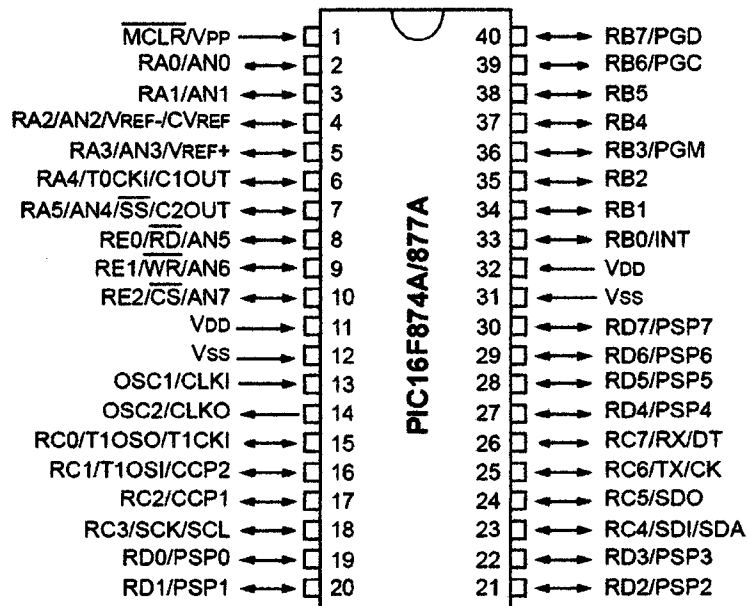


Figura 1.8. Pinout Del PIC16F877A.

Las características más importantes del PIC16F877A para nuestro proyecto son:

Memoria Flash: En esta se guardará nuestro programa, es de 8Kx14 es decir cada las 4 posiciones de memoria de 2kbytes cada una tiene una capacidad de 14bits.

Memoria SRAM: Se ubican los registros de funciones especiales “SFR” y los registros de funciones generales “SGR” esta memoria es de tipo volátil por lo que cuando quitemos la alimentación del PIC se borrarán.

Se divide en 4 bancos de 128 bytes cada uno. Las primeras posiciones están dedicadas para los SFR y las últimas están para los SGR. Cada registro es de 8 bits (Ver figura 1.9).

Tabla 1.5.

Tipos de osciladores para los PIC.

Modo	Frecuencia típica
LP	32 khz 200 khz
XT	100 khz 2 Mhz 4 Mhz
HS	8 Mhz 10 Mhz 20 Mhz

Nota: Para frecuencias internas ver el datasheet del PIC dado por el fabricante.
Adaptado del datasheet PIC16F877A.

Las opciones de frecuencia de trabajo del PIC16f877A son LP (Low Power), XT (Crystal), HS (Hightspeed) como se indica en la tabla 1.5.

Ciclo máquina del PIC: es el tiempo que se tarda en ejecutar una instrucción. El ciclo máquina está directamente relacionado con el ciclo reloj.

Para calcular el tiempo que tarda en ejecutarse una instrucción usaremos la siguiente ecuación.

$$\text{Tiempo} = 4 * (1 / \text{Fosc})$$

Al usar un oscilador de 4Mhz obtendremos $\text{TIEMPO} = 4 * (1 / 4\text{Mhz}) = 1$ microsegundo para la ejecución de una instrucción.

El ADC (Convertidor Analógico Digital):

Los módulos AD de microchip realizan un muestreo y retención (sample & hold) para luego pasar la información a l módulo de conversión A/D que realiza aproximaciones sucesivas a grandes velocidades hasta encontrar el valor digital que iguala a la tensión de entrada (Ver figura 1.10).

El módulo de conversión requiere de los siguientes parámetros:

- Tensión de entrada
- Número de bits
- Resolución

- Tensión de fondo de escala
- Tiempo de conversión
- Error de conversión

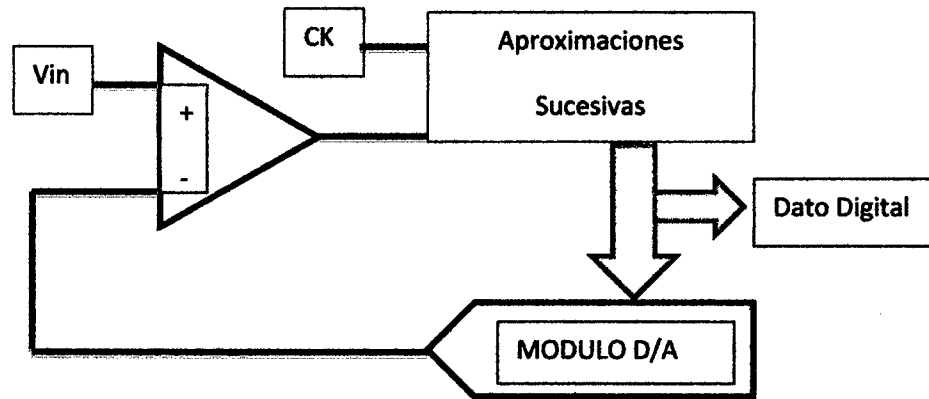


Figura 1.10. Conversor A/D de aproximaciones sucesivas

En los módulos de conversión de la gama media al cual pertenece el PIC16F877A tiene hasta 8 canales de entrada analógica nos permite tener un voltaje de referencia V_{ref+} máximo hasta VDD y V_{ref-} hasta VSS o se pueden variar estos parámetros según la aplicación.

$$resolucion = \frac{V_{in}}{2^N - 1}$$

V_{in} : Tensión de entrada

N: Número de bits del convertidor

La resolución cambiará de acuerdo a la tensión de fondo de escala. El PIC16F877A posee muchas entradas analógicas pero un sólo módulo A/D, por lo que no se pueden usar todas al mismo tiempo y el esquema de configuración para habilitarlos dependerá para cada PIC y las necesidades del proyecto; en el siguiente grafico 1.11 se muestra la configuración analógica para el PIC16F877A.

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C/R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1/2

A = Analog input D = Digital I/O

C/R = # of analog input channels/# of A/D voltage references

Figura 1.11. Configuración para las entradas al módulo ADC.

1.12. PIC C compiler 4.108.

Los microcontroladores tienen como lenguaje humano el lenguaje ensamblador dado por el fabricante, pero como este es un lenguaje de programación de bajo nivel el tiempo de programación es muy largo y las líneas de código son muy extensas incluso para realizar las más básicas instrucciones.

El software desarrollado por CCS (Custom Computer Services) (Figura 1.12) es el más inteligente y optimizado compilador en C del mercado para PIC'S este ejecuta líneas de instrucción en C; siendo de medio nivel nos reduce las líneas de instrucción y tiempo de programación pero sin perder muchas ventajas del ensamblador, contiene operadores estándar de lenguaje C y funciones incorporadas en bibliotecas que son específicas para los registros del PIC que nos proporciona acceso al hardware, las funciones del dispositivo desde el nivel de lenguaje C nos proporciona una mayor eficiencia al momento de compilar nuestros programas.

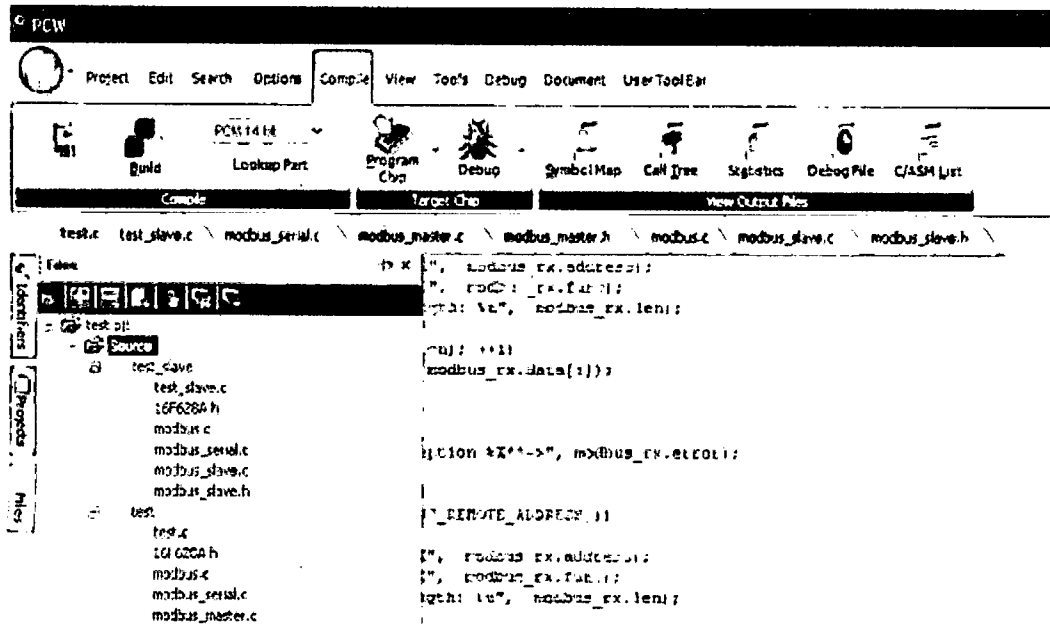


Figura 1.12 Entorno de programación PCW de PIC C.

El compilador CCS contiene más de 307 funciones integrales que simplifiquen el acceso a hardware del PIC algunas de estas son:

- Temporizadores y módulos PWM
- Convertidores A/D

1.13. El DAC (Del inglés Digital to Analog Converter).

El Conversor Digital-Analógico, como su nombre lo indica este dispositivo convierte señales digitales datos binarios en señales de corriente o tensión analógica.

El DAC0808 convierte 8 bits recibidos en salida de corriente en intervalos de 150 nano segundos y con solo una disipación de potencia de 33mW trabajando a +/- 5V DC.

Este dispositivo puede trabajar fácilmente con los niveles lógicos TTL, DTL o CMOS la configuración de los pines del dispositivo se muestra en la figura 1.13.

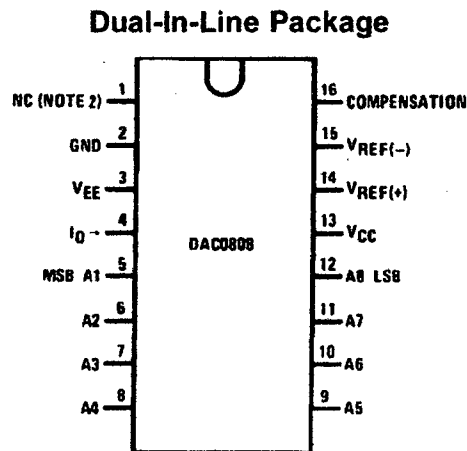


Figura 1.13. Pinout del CI DAC0808.

1.14. EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL (A.O. u OPAM).

Es un circuito integrado que tiene dos entradas y una salida, la salida es la diferencia de las dos entradas multiplicadas por un factor G (Ganancia); además de cumplir las reglas de oro del OPAM.

- Regla del voltaje: La salida trata de hacer lo que sea necesario para hacer cero la diferencia de voltaje entre las entradas.
- Regla de corriente: Las entradas tienen un nivel de corriente casi de cero.

El circuito integrado LM324 mostrado en la figura 1.14 posee cuatro opam's de propósito general es decir podemos usarlos independientes y adaptarlos de acuerdo a nuestras necesidades de diseño.

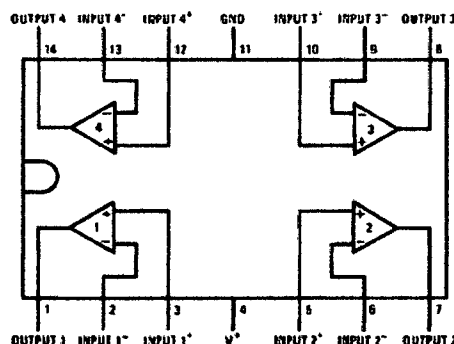


Figura 1.14. Pinout del CI LM324.

1.15. LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA ATX (Advanced TECHNOLOGY Extended).

Es un dispositivo electrónico que transforma energía eléctrica mediante transistores en conmutación en altas frecuencias (20-1000 kilociclos) entre corte (abiertos) y saturación (Cerrados). La forma de onda cuadrada que resulta es aplicada en núcleos de ferrita; esta devuelve varios voltajes en (AC) que son rectificados con diodos, inductores y condensadores, la desventaja comparada con fuentes lineales es que son más complejas y a máxima capacidad generan ruido eléctrico de alta frecuencia. Una de ellas es la fuente marca HALION modelo ATX-600W mostrada en la figura 1.15.

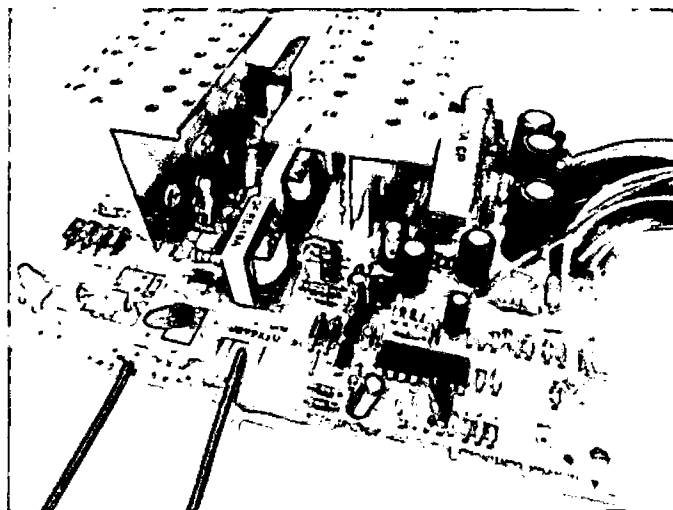


Figura 1.15. Fuente Conmutada ATX HALION.

Tabla 1.6.

Niveles de tensión de la fuente ATX HALION.

AC INPUT	Voltaje			Corriente			Frecuencia		
	230V			4A			60HZ		
DC OUTPUT	Naranja	Amarillo	Azul	Rojo	Blanco	Purpura	Negro	Verde	Marrón
	+3.3V	+12V	-12V	+5V	-5V	+5V	GND	PS-ON	POK
	35A	20A	0.5A	40A	0.5A	2.5A			No se ubica

Nota. Valores dados por el fabricante, tomados del case, no todas las fuentes ATX son iguales.

1.16. TELEOPERACIÓN POR PALANCA DE MANDO O JOYSTICK.

La teleoperación es el conjunto de tecnologías que comprenden la operación a distancia de un dispositivo por un ser humano. Esta necesaria intervención se debe principalmente porque se requiere realizar tareas no predecibles y de complejidad; un sistema de teleoperación cierra el bucle de control del sistema global (Figura 1.16). El operador actúa como un controlador generando señales de actuación sobre el dispositivo de control a partir de la realimentación visual de información.

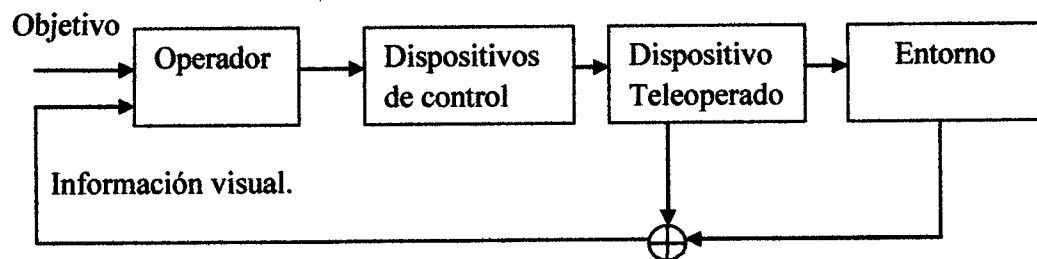


Figura 1.16. Controlador del sistema de teleoperación

➤ Palanca de mando o joystick

Es un dispositivo de control de ejes que tiene múltiples prestaciones usada en videoconsolas, grúas, aviones, robótica y naves espaciales; los más comunes son joysticks digitales y joystick analógicos estos últimos usan potenciómetros que leen continuamente la posición de cada eje, dependiendo de las necesidades poseen botones y controles deslizantes.

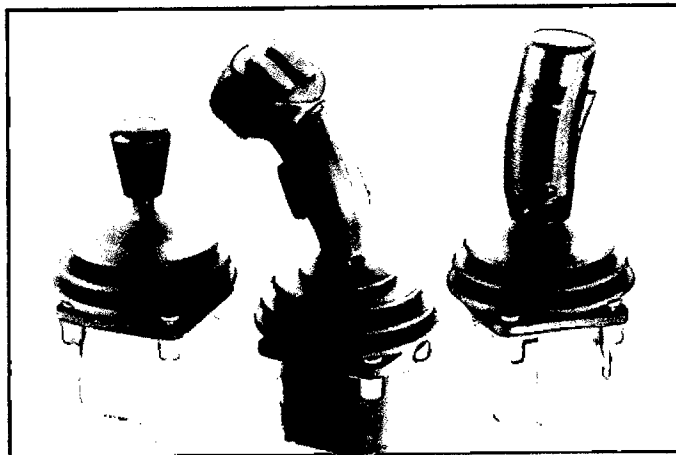


Figura 1.17. Joystick Industriales.

Los más utilizados son los analógicos (Ver figura 1.17) por su grado de precisión, su principio de funcionamiento es sencillo; dependiendo del número de ejes a tener poseerá un número de potenciómetros, para un joystick de dos ejes X y Y se requerirá de dos potenciómetros (Figura 1.18).

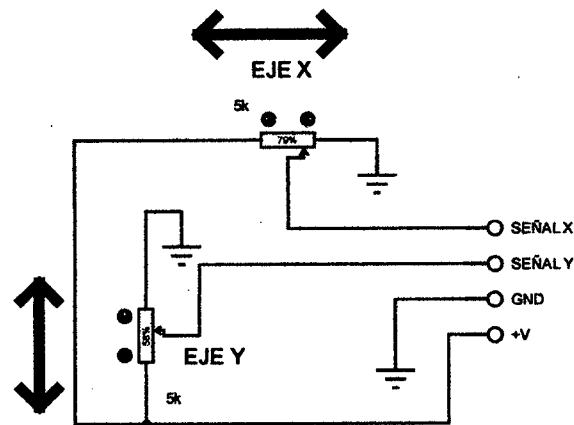


Figura 1.18. Circuito de conexión interna de los potenciómetros.

El valor de las resistencias pueden variar pero las más utilizadas son de 5k, 10k, 50k y 100k. Todo dependerá del tipo de decodificador a utilizar en la actualidad todos los microcontroladores aceptan los niveles de corriente proporcionados por un potenciómetro de hasta 100k sin perder la precisión de lectura.

CAPITULO 2

2. ESTUDIO Y DESCRIPCION DEL BRAZO ROBOT A255 Y EL CONTROLADOR C500.

2.1 BRAZO ROBOTICO CRS A255.

El robot de primera generación (Véase sección 1.3.1) CRS A255 del laboratorio de mecatronica de la Universidad Nacional de Piura es de tipo articular (Ver sección 1.3.3), posee cinco ejes o grados de Libertad (Ver sección 1.3.2), accionados a través de servos drivers DC, el CRS A255 está conformado por tres partes como son el brazo robótico articulado, el controlador y el Teach Pendant o control de movimientos.

El brazo robot está constituido de cuatro componentes mayores. La base, hombro, brazo bajo, brazo alto, el brazo tiene cinco articulaciones: la cadera, hombro, codo, muñeca y su rotador como se muestra en la figura 2.1.

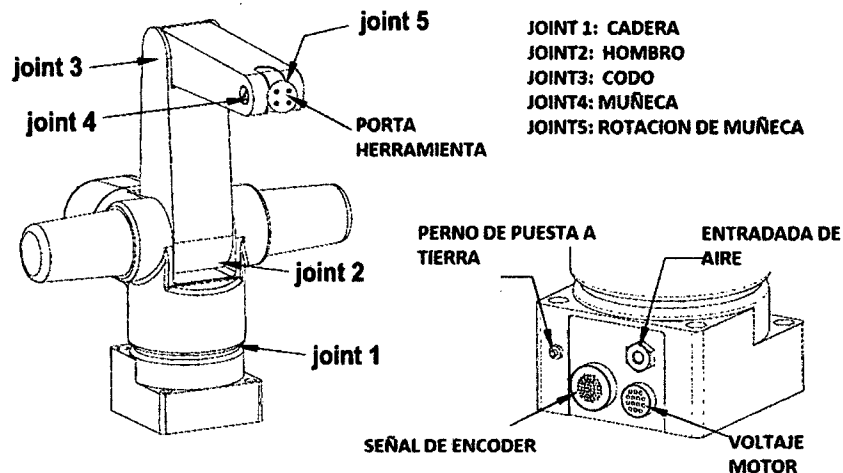


Figura 2.1. Articulaciones del brazo robot A255.

El sistema robótico CRS A255 según la ISO 8373 es controlado por trayectoria o según la AFRI de tipo C es decir dos o más ejes se mueven simultáneamente para alcanzar la posición requerida. Posee una estructura mecánica de cadena cinemática abierta, está constituido por materiales conformados por una aleación de aluminio. Los paneles laterales son un ejemplo de esto, esta técnica de construcción hace que el brazo sea liviano pero rígido, lo que permite la gran velocidad y exactitud del sistema. Cada articulación esta sujeta por bolas de rodamiento de alto grado de precisión, las que no necesitaran mucho mantenimiento durante la vida útil del brazo. La base del

brazo al igual que los componentes móviles del robot, son hechos de aluminio lo que le da una estructura sólida sin incrementar peso a la estructura.

2.1.2. Especificaciones principales del brazo robot

Las especificaciones del brazo robot están dadas por el fabricante (CRS Robotics) en la tabla 2.1 se dan las especificaciones generales como GDL, peso, montaje en la tabla 2.2 se dan los ángulos de movimiento; la tabla 2.3 muestra las medidas del brazo en mm y pulgadas las tablas 2.4, 2.5 y 2.6 dan la velocidad, par de torsión y aceleración para cada articulación; en la tabla 2.7 se muestran las condiciones ambientales para la instalación del brazo robot A255.

Tabla 2.1.

Especificaciones generales.

Grados de Libertad	5
Peso del Brazo	19 kg
Montaje	Vertical o Invertida
Carga útil Nominal	1Kg
Carga Máxima	2Kg
Repetibilidad	+/- 0.05 mm
Sistemas de Accionamiento	Motores DC Encoders incrementales
Frenos	En todas las articulaciones, excepto en la articulación 1
Modos de Movimiento	Dirigido/Automático

Nota. Adaptado del Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

Tabla 2.2.

Rango de manejo de articulaciones.

Articulación	Eje	Amplitud de movimiento
Cintura	1	+175 a -175 grados
Hombro	2	+110 a 0 grados
Codo	3	0 a -130 grados
Flexión de muñeca	4	+110 a -110 grados
Giro del actuador	5	+180 a -180 grados

Nota. Adaptado del Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

Tabla 2.3.

Medidas del brazo robot.

Sección	Dimensión	
	Pulgadas	mm
Superficie de montaje al hombro	10	254
Del hombro al codo	10	254
Del codo al eje de la muñeca (eje 4)	10	254
Del eje de la muñeca a la superficie del actuador	2	50.8

Nota. Adaptado del Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

Tabla 2.4.

Velocidad de articulaciones al 100% velocidad programada (Rad/seg).

Rotación cadera	3.05
Hombro	2.18
Codo	3.05
Muñeca	3.14
Pinza	6.28

Nota. Adaptado del Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

Tabla 2.5.

Par de torsión continuo para cada articulación.

Capacidad de par de torsión continuo			
Articulación	Eje	Par de torsión	
		In-lb	N-m
Cintura	1	57	6.4
Hombro	2	57	6.4
Codo	3	57	6.4
Flexión de muñeca	4	13	1.4
Giro del actuador	5	6.3	0.71

Nota. Adaptado del Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

Tabla 2.6.

Rango de aceleración predeterminado de articulaciones Rad/seg².

Rotación cadera	12.93
Hombro	12.93
Codo	12.93
Muñeca	58.18
Pinza	116.36

Nota. Adaptado del Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

Tabla 2.7.

Especificaciones ambientales de trabajo.

Temperatura	10° a 40° C
Humedad	>80% de Humedad
Vibración	No apto para trabajos en entorno de vibraciones y golpes
Interferencia	Aislarlo del ruido eléctrico excesivo o plasma

Nota. Adaptado del Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

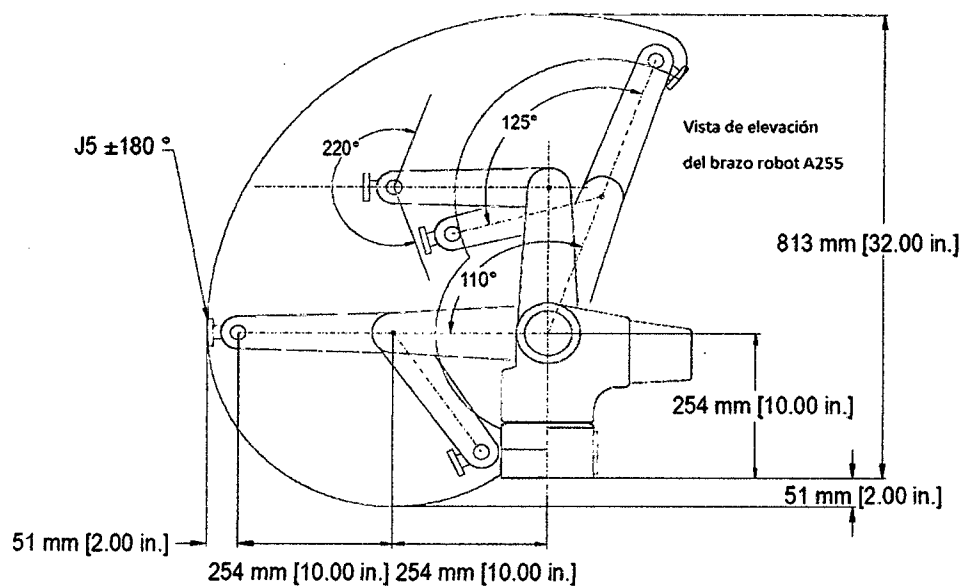


Figura 2.2. Espacio de trabajo vista de perfil del A255

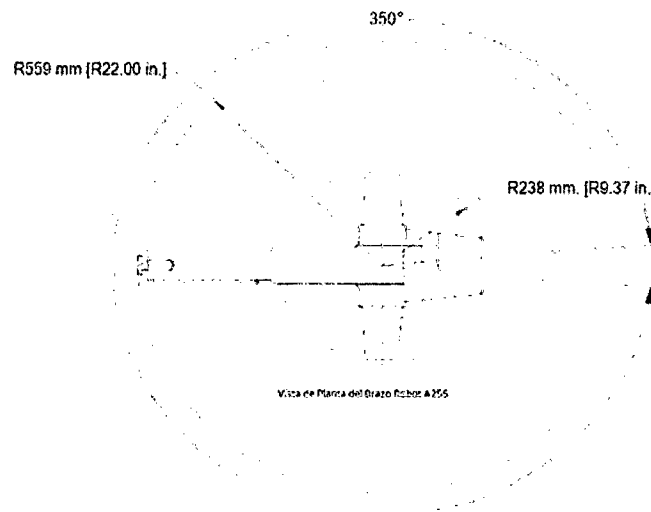


Figura 2.3. Espacio de trabajo vista de planta del brazo robot A255

De las figuras 2.2 y 2.3 podemos apreciar la movilidad máxima que puede realizar el brazo A255 esto es importante porque nos da el espacio de trabajo y así evitar accidentes.

El brazo robot del laboratorio de mecatronica de la Universidad Nacional de Piura se encuentra invertido verticalmente (Ver figura 2.4) y el lugar donde actualmente está ubicado no permite sus máximos alcances.

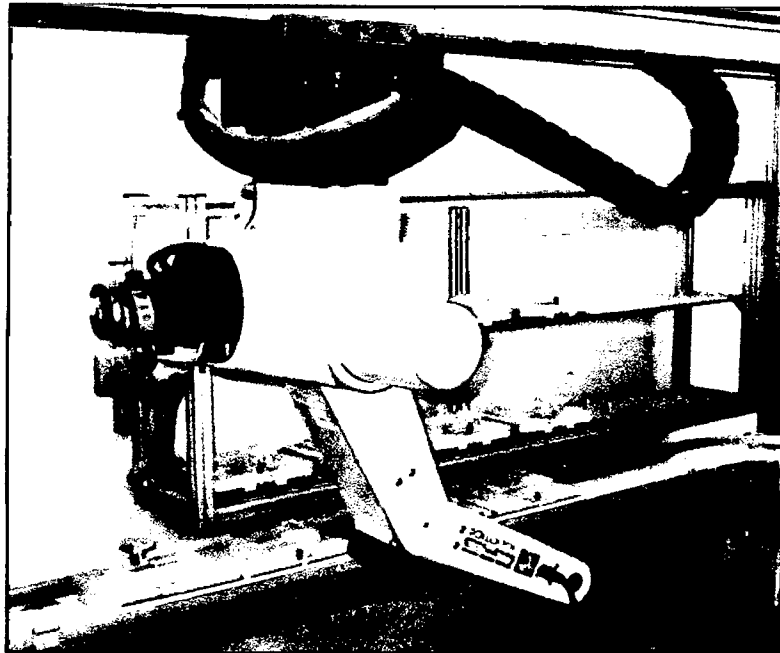


Figura 2.4. Brazo robot CRS A255 de la Universidad Nacional de Piura.

2.2. MOTORES DE ACCIONAMIENTO.

Los motores que se usan en el sistema robótico de la serie A255 son servomotores DC de magneto permanente. Los motores principales son de la serie CMC (Cleveland Motion Control) MH2110 (Figura 2.5) denominados sistemas de torque.

Estos fueron construidos con estándares industriales y están equipados con encoders óptico incrementales.

Los motores del A255 (Ver tabla 2.8) tienen una velocidad máxima de 3600 RPM sin carga y un torque máximo de 100 oz-in (2.835Kg-in).

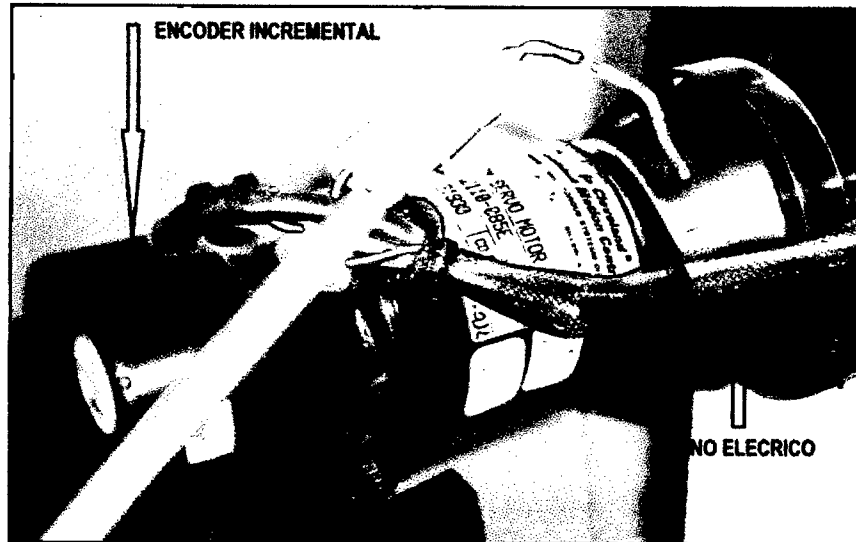


Figura 2.5. Motor de accionamiento del brazo robot A255

Según los parámetros de voltaje del motor (Véase datasheet en anexo1)

Ecuación de Voltajes para los motores dado por el Fabricante:

$$Volt = \frac{Kt \times RPM}{1350} + \frac{T \times Ra}{Kt} + Vb$$

$Kt = 9.3 \text{ Oz-In/Amp}$

$RPM = 3000$

$T = Tc + Tf = 21 \text{ Oz-In}$

$Ra = 2.40 \text{ Ohm}$

$Vb = 2 \text{ Volts}$

$Volt = 2.67 + 5.42 + 2 = 10.09 \text{ Voltios}$, necesarios para mover los motores a 3000 rpm.

Los motores del brazo robot son energizados antes de ponerse en funcionamiento, el voltaje necesario para esto teniendo 0 rpm es de 7.42v.

Tabla 2.8.

Descripción de los motores DC del brazo robot A255.

Tipo	Motor DC de imán Permanente
Rodamientos	ABEC clase 1-0375" ID
Voltaje Máximo	+/-35 V
Corriente Máxima	2A
Máxima velocidad a 35V	3600 rpm
Par Máximo	100 oz-in

Nota. Adaptado de CRS Robotics. Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

El motor de la articulación 1 se encuentra dentro de la base inaccesible para leer su codificación, según los manuales del robot A255 este posee las mismas características de los demás motores en la tabla 2.9 se muestra el modelo, código y serie de cada motor del brazo robot A255 de la Universidad Nacional de Piura.

Tabla 2.9.

Motores de las articulaciones 2, 3, 4,5 y traslación.

	Motor Art. 2	Motor Art. 3	Motor Art. 4	Motor Art. 5	Motor Traslación
Modelo	MH2110-085E	MH2110-085E	MH2110-085E	MH2110-085E	MH2110-084E
Código	9820	9820	9820	9813	9820
Serie	1261930-32	1261920-32	125507-32	125502-32	12620-23

Nota. Adaptado del case de los motores de robot A255 de la Universidad Nacional de Piura.

2.2.1 Encoders ópticos incrementales

Los motores del brazo robot CRS A255 tienen un encoder montado al final del eje del motor. Los encoders son incrementales de la serie LDA-051-1000 Zumtak (Ver datasheet anexo 2) lo que significa que solo pueden realizar cuentas incrementales o decrementales a partir de la localización actual en la que se encuentre.

El encoder de la serie Load-051-1000 realiza 1000 pulsos por revolución. Todos los motores tienen cuenta única en la tabla 2.10 se muestra el tipo, la energía y el número de serie mientras que la tabla 2.11 muestra las características de los encoders del brazo robot A255 de la Universidad Nacional de Piura estos poseen similares características por ser del mismo tipo.

Estos generan un tren de pulsos que son directamente relacionados con la posición del eje, los encoders utilizan dos estatotes con diferencias de fases de 90 grados para determinar la dirección de la rotación, a través de estos se calcula la posición en la que se encuentra cada articulación.

Tabla 2.10.

Encoder de las articulaciones 2, 3, 4 y 5.

	Encoder Art. 2	Encoder Art. 3	Encoder Art.4	Encoder Art. 5	Encoder Traslación
Type	Load-051- 1000	Load-051- 1000	Load-051- 1000	Load-051- 1000	Load-051- 1000
Source	DC-5V- 140mA	DC-5V- 140mA	DC-5V- 140mA	DC-5V- 140mA	DC-5V- 140mA
No	9804-06023	9804-06118	9804-0409	9804-0459	9804-0462

Nota. Valores de los encoders indicados en el brazo robot A255 del laboratorio de la Universidad Nacional de Piura.

Tabla 2.11.

Características del encoder óptico incremental.

Posición de retroalimentación	Encoder óptico incremental
Resolución	1000 pulsos/rev
Referencia marcador de pulso	1 por rev
Salida	A, B, Zsq. Onda
Tecnología	TTL

Nota. Adaptado de CRS Robotics. Manual de usuario robot articulado CRS A255,

2.2.2. Frenos

Los motores del robot A255 tienen frenos para todos los ejes excepto para la articulación de la base o cadera, estos se encargan de evitar que las articulaciones del brazo robot caigan por la fuerza de gravedad al no estar energizados los motores (Véase datasheet en anexo 3) cabe mencionar que el motor del carro de traslación no posee freno.

Estos son del tipo Power off de disco a prueba de falla una señal de 12-24Vdc es suficiente para energizarlo y hacer que se suelte liberando la articulación.

2.3. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.

El Robot A255 cuenta con cadenas (Figura 2.6) las cuales son las que transmiten el movimiento a las demás articulaciones, estas tienen una mayor precisión que cables o correas y la transmisión de gran torque a largas distancias (Véase sección 1.5).

Entrada: Circular

Salida: Circular

Denominación: engranajes, cadenas (Ver figura 2.6).

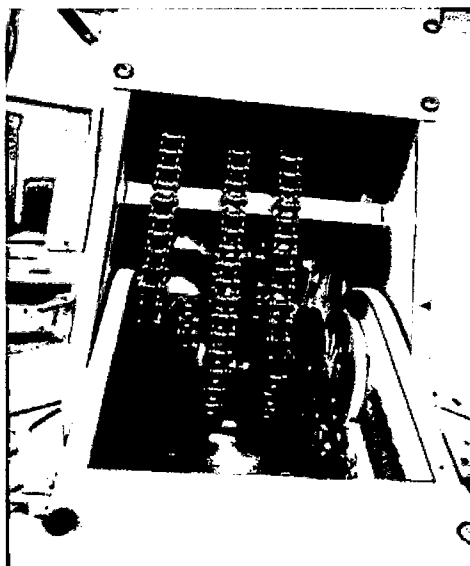


Figura 2.6 Transmisión por cadenas del brazo robot A255

En los motores de todas las articulaciones se tiene sistemas de engranajes para disminuir la velocidad e incrementar el torque, se encontró en las articulaciones uno, dos y tres reducciones tipo Cicloidales estos están preparados para cargas y choques fuertes, mientras que las articulaciones 4 y 5 son engranajes, la relación de reducción están dadas en la tabla 2.12.

Tabla 2.12.

Relación de reducción para cada articulación.

Articulación	Relación de engranajes
1	72:1
2	72:1
3	72:1
4	19.6:1
5	9.8:1

Nota. Adaptado de CRS Robotics. Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica.

2.4. EL GRIPPER.

Es el efector final del brazo, no se cuenta como una articulación más del brazo o como parte del mismo, este puede ser removido o remplazado por otro sistema de sujeción de acuerdo a los requerimientos del trabajo (Véase sección 1.9). Este cuenta con un servomotor DC y una caja de engranajes que convierten el movimiento rotación a lineal.

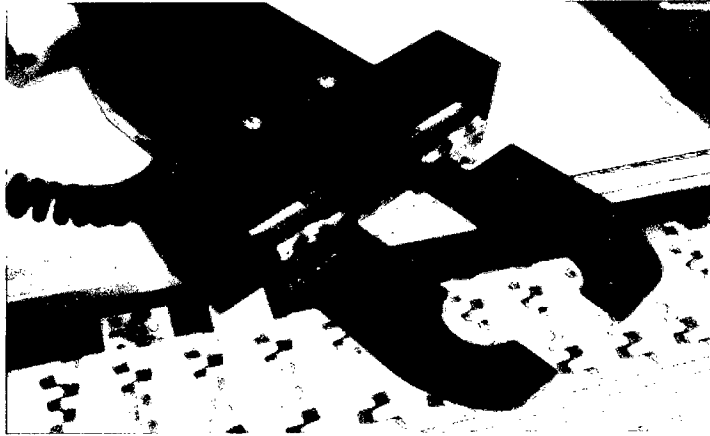


Figura 2.7. Servo gripper del A255.

El robot A255 de la Universidad Nacional de Piura cuenta con un gripper como se muestra en la figura 2.7.

2.5. CABLES DE TRANSMISIÓN.

Los cables de transmisión de potencia y señal (Figura 2.8), son los encargados de llevar la energía al brazo robot A255 y la información hacia el controlador.

- Conector de potencia de los motores.
- Conector de realimentación de los encoders colocados en los motores.
- Puerto de entrada de aire y servo gripper.
- Punto de conexión a tierra (GND).

Para la conexión del brazo con el controlador existen dos cables umbilicales, los cuales son los encargados de transmitir las señales de los encoders como de potencia esta última necesaria para la activación de los motores (Figura 2.9).

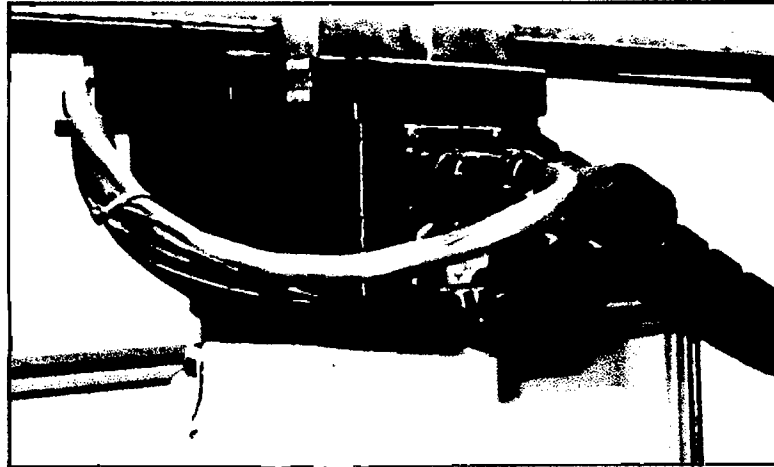


Figura 2.8. Conexión de los cables umbilicales a la base del brazo.

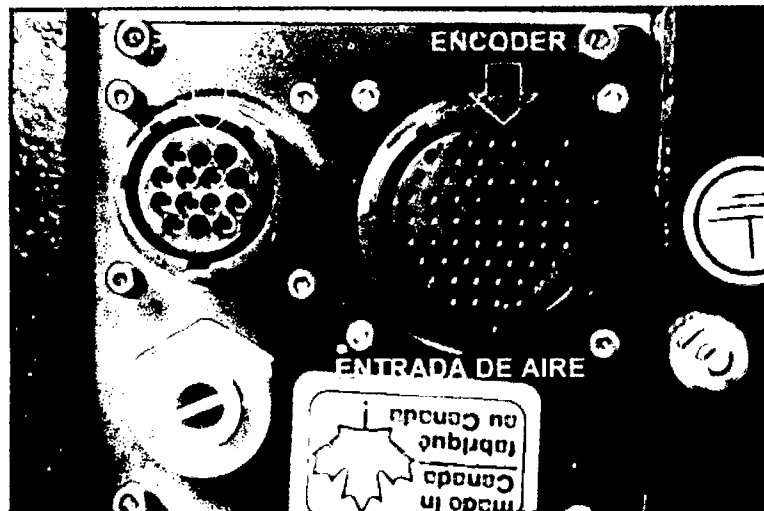


Figura 2.9. Conectores tipo hembra en la base del robot A255.

2.5.1. Conector de potencia para los motores

Este conector CPC-24 (Figura 2.10) posee 24 puntos de conexión, pero para el robot A255 se utilizan solo 10 puntos, este conector tipo macho se conecta a la base robot y estos son conectados a cada uno de los motores, el otro extremo es de tipo hembra se conecta al controlador donde se conecta a la salida de los puentes H, ver tabla 2.13 estos datos fueron corroborados a través de mediciones de continuidad.

Tabla 2.13.

Suministro de energía a los motores del brazo A255.

Punto	Conexión	Descripción
1	Motor 1+	Energía del motor +/- 25V a 2ª máx.
2	n/c	No utilizado en el A255
3	Motor 2+	Energía del motor +/- 25V a 2ª máx.
4	Motor 1-	Retorno de Energía del Motor
5	Motor 3+	Energía del motor +/- 25V a 2ª máx.
6	Motor 4+	Energía del motor +/- 25V a 2ª máx.
7	Motor 2-	Retorno de Energía del Motor
8	Motor 5+	Energía del motor +/- 25V a 2ª máx.
9	Motor 3-	Energía del motor +/- 25V a 2ª máx.
10	Motor 4-	Retorno de Energía del Motor
11	Motor 6+	No utilizado en el A255
12	Motor 5-	Retorno de Energía del Motor
13	Defensa	No utilizado en el A255
14	Motor 6-	No utilizado en el A255

Nota. Adaptado de CRS Robotics. Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección controlador.

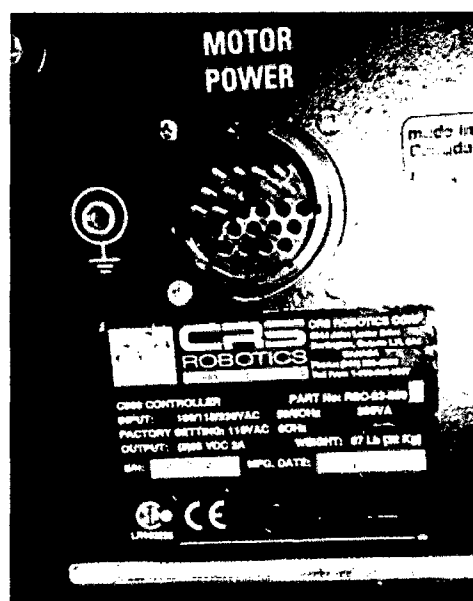


Figura 2.10. Salida de potencia de los motores del controlador C500 y puesta a tierra.

2.5.2 Conector Para los Encoders

Se encuentra el conector CPC-57 este conector es de tipo hembra ubicada en la base del brazo robot, siendo utilizados 30 puntos conectados a cada uno de los encoders de los motores del brazo y al solenoide de los frenos (Ver tabla 2.14).

El cable umbilical se encarga de llevar las señales provenientes de los encoder y también la señal de referencia para los frenos de cada articulación así como también la alimentación para los frenos; tiene conectores tipo macho en los extremos para la conexión en el brazo como en el controlador (Ver figura 2.11).

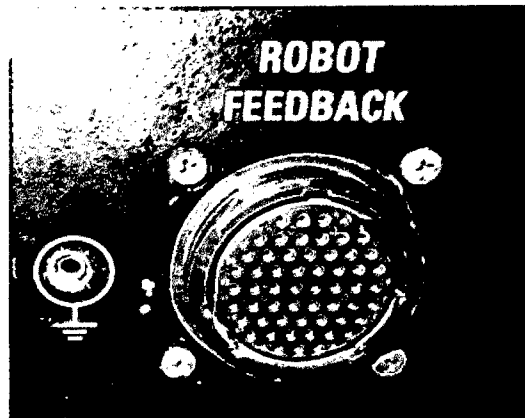


Figura 2.11. Entrada de señales de encoder al controlador C500 y puesta a tierra.

Tabla 2.14.

Configuración del conector de señal de encoder y frenos.

Punto	Firma	Descripción
1	1A	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
2	1B	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
3	2A	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
4	2B	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
5	-	
6	-	
7	1Z	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
8	2Z	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
9	-	
10	-	

11,18	freno	24V a 100mA
12,13	SGM	+/-15V a 300mA
14	-	
15,16	Vcc	+5Vdc a 80mA
17	Vcc	+5Vdc a 80mA
19	-	
20	3A	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
21	3B	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
22	4A	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
23	4B	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
24,25	GND	Retorno digital de Encoder
26	-	
27	-	
28	3Z	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
29	-	
30	-	
31	4Z	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
32,33	BRAK ERET	Retorno del suministro de frenos

Continuación de la tabla 2.14

34	-	-
35	-	-
36	-	-
37	-	-
38	-	-
39	-	-
40	GND	Retorno digital de encoder
41	-	
42	-	
43	5A	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
44	-	
45	-	

Continuación de la tabla 2.14		
46	-	
47	SGRIP TRQ	+/- 1V
48	SGRIP POS	0- 4.7 V
49	5B	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
50	5Z	Frecuencia RS422+, 200Khz taza de pulso máxima
51,52	Vcc	Suministro del encoder +5VDC a 80mAmp
53	S/A G+	Solenoide de aire 12V a 200mAmp
54	S/A G-	El retorno de solenoide de aire está controlado por software
55,57	GND	Retorno digital de encoder
56	-	-

Nota. Adaptado de CRS Robotics. Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección controlador.

2.5.3 Conector del servo gripper y gripper neumático

El brazo robot A255 es apto para el cambio de herramienta, esta dependerá del trabajo que desee realizarse (Véase sección 1.9.); por fabrica cuenta con dos conectores de aire y tensión como se muestra en la figura 2.12.

- Conector del servo gripper

Ubicado entre la muñeca y el codo, dotado de 12 puntos de conexión de los cuales solo utiliza 7 puntos estos se conectan al puerto de realimentación del brazo robótico de donde se transmiten las señales electricas, estas señales son transmitidas a través del cable umbilical CPC-57 como se muestra en la tabla 2.14, esto debido a que el motor del gripper trabaja con baja corriente y no afecta las demás señales.

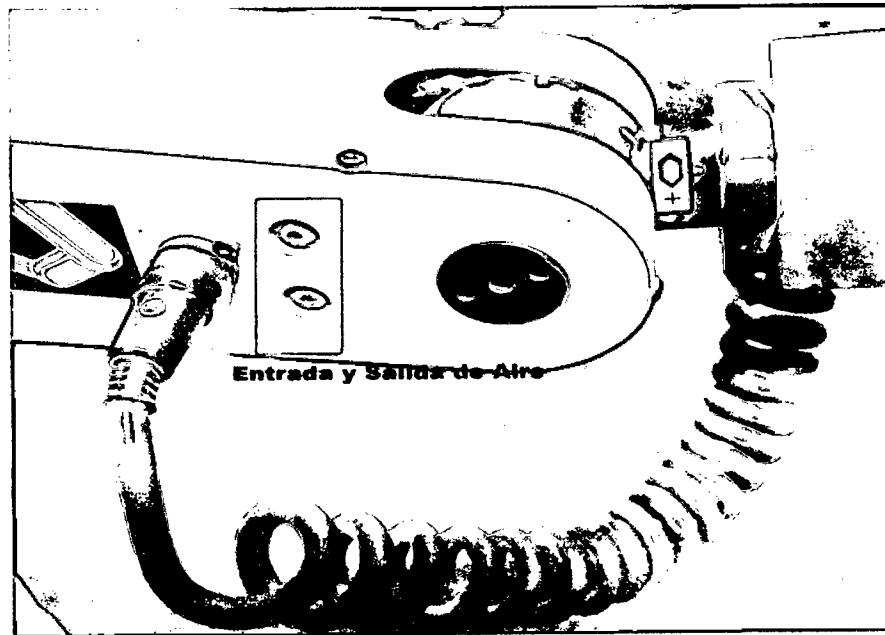


Figura 2.12. Conexión del gripper al brazo robot

- Conector del gripper Neumático

Ubicado entre la muñeca y el codo este es un conector de dos puntos de entrada y salida de aire como se muestra en la figura 2.12.

El brazo robot A255 de la Universidad Nacional de Piura no cuenta con un gripper neumático como repuesto al servo gripper el cual se encuentra dañado.

2.6. EL CONTROLADOR C500.

La parte eléctrica y electrónica se encuentran ubicadas en el controlador C500 (Figura 2.13), con un peso de 31 Kilogramos, 48.26 cm de ancho, 26.7 de largo y 40 de espesor; es el corazón y cerebro del brazo robot A255.

Consta de tres partes o etapas, transformación, etapa de potencia-aislamiento y la etapa de control.

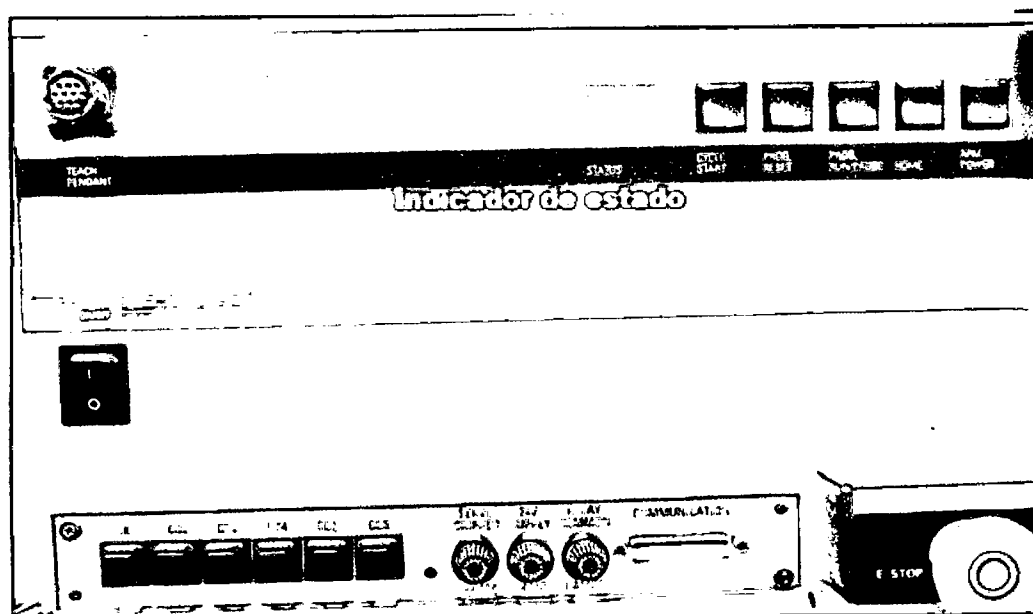


Figura 2.13. Controlador C500 vista frontal

En el panel frontal y trasero se encuentran las interfaces de comunicación con el exterior.

En el panel frontal (Ver figura 2.13), en el lado izquierdo se encuentra el interruptor ON/OFF que permite conectar o desconectar al controlador.

En la parte superior izquierda se encuentra el conector tipo hembra del Teach Pendant; al lado derecho se ubica la pantalla de estado este nos indicara el estado del controlador al ser encendido, si hubiese algún error este nos mostrara el código de error en dos dígitos hexadecimales, cada dígito tienen un tipo de error asociado. (Ver tabla en el anexo 4).

En la parte superior derecha existen cinco interruptores Cycle Start, Prog. Reset, Prog. Run/Pause, Home y Arm Power; cada uno de ellos es independiente del software y pueden operar con un controlador externo como el Teach Pendant. (Para mayor información de cada interruptor ver manuales de C500 dados por el fabricante)

En la parte inferior derecha se ubica la parada de emergencia (E. STOP) esta si es pulsada frena la operación del brazo robot y controlador, para volverla a su estado normal es necesario presionar y girar.

En la parte inferior se encuentra ubicado el conector de comunicación DB-25 hembra esta realiza la comunicación del controlador con la PC; a su lado izquierdo se encuentran ubicados los fusibles de protección, para el servo gripper, la fuente interna de 24 voltios y activación de relés. Además se encuentran los interruptores CB1, CB2, CB3, CB4, CB5 y CB6 que pueden inhabilitar cada articulación reduciendo el número de grados de libertad del brazo robot.

En el panel trasero se ubica la entrada de alimentación, la caja de fusibles y los conectores de CPC-24 y CPC-57 encargados de la transmisión de potencia a los motores y señal de encoders y frenos respectivamente además de los conectores SYSIO, GPIO y puesta a Tierra.

2.6.1 Etapa de transformación

Es la que se encarga de producir la potencia suficiente para el funcionamiento del brazo robot en esta etapa se realiza la transformación y acoplamiento de voltaje proveniente de la alimentación monofásica (Ver figura 2.15).

El controlador es capaz de recibir 100, 115 y 230 VAC todo dependerá de la configuración que se den a los fusibles en la entrada de potencia del controlador, es muy importante que se le dé la correcta configuración o podría ocasionar la inutilización de todo el controlador. En la entrada principal tiene una protección de dos fusibles de 250V a 5Amperios, ver figura 2.14.

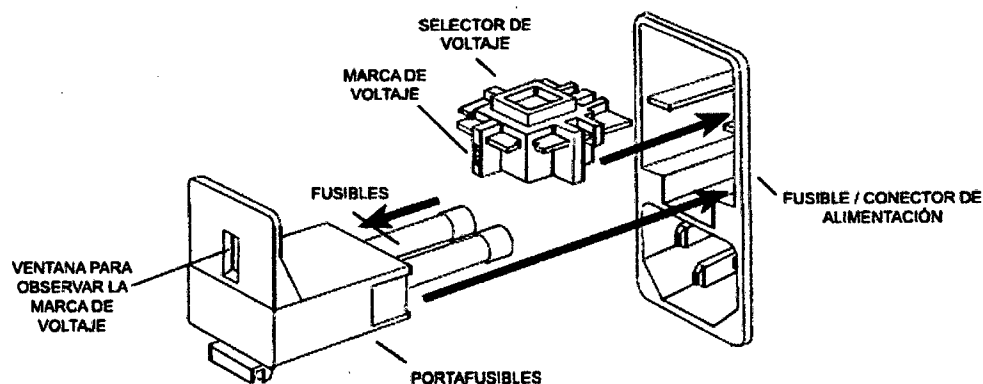


Figura 2.14. Selector de voltaje de Alimentación.

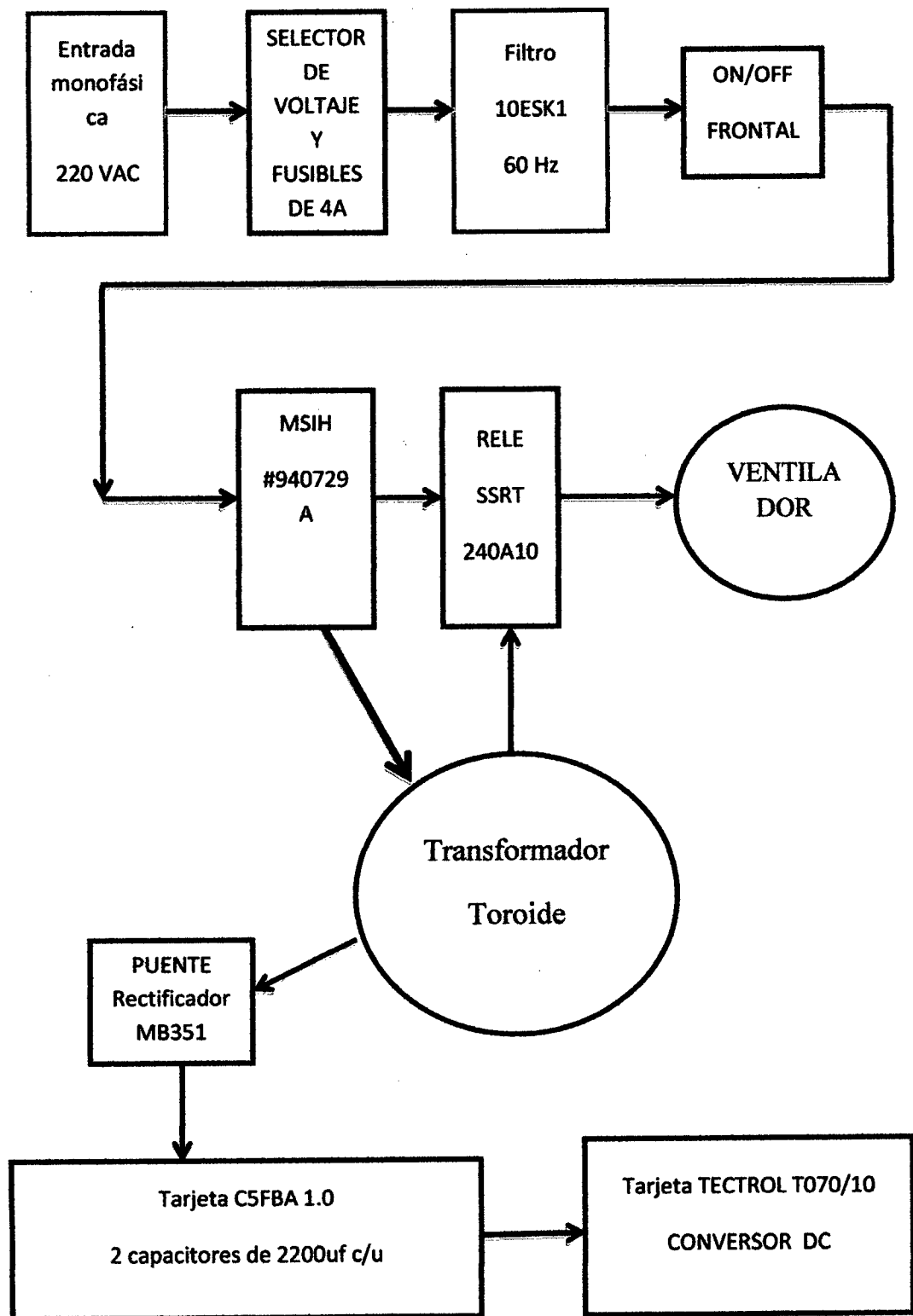


Figura 2.15. Esquema de funcionamiento de la etapa de transformación.

Se localizó el filtro RC 10ESK1 parte superior derecha de la figura 2.16, que se encarga de estabilizar la frecuencia de voltaje a 60 Hz, este está condicionado al ON/OFF de la máquina, reduce los ruidos a límites aceptables (Ver características del filtro en anexo5).

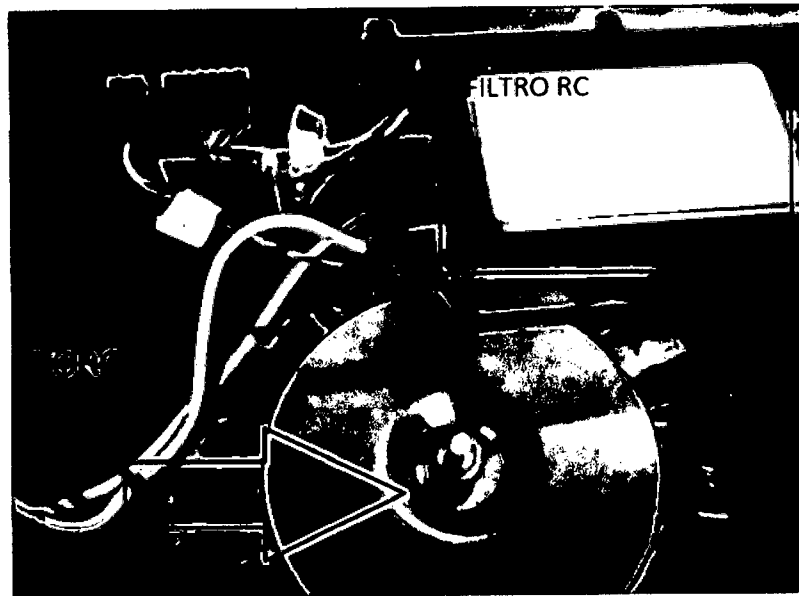


Figura 2.16. Filtro 10 ESK1 y Toroide

En su etapa de acondicionamiento de voltaje recae sobre la tarjeta MSI #940729F el cual rectifica y retarda el voltaje de este proceso, se obtienen dos salidas de voltaje 15 VAC y 115 VAC; con la primera se activa el relé de estado sólido SSRT-240D10 permitiendo el paso de los 115 VAC y alimentando al Toroide (Ver figura 2.17).

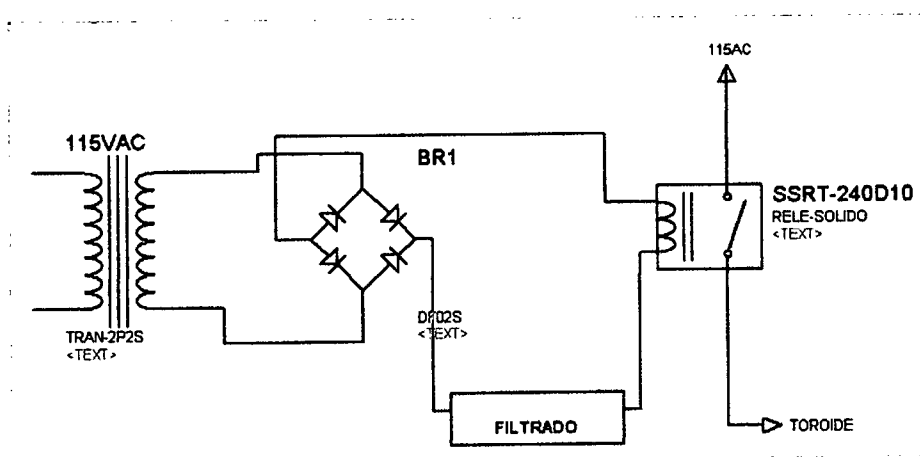


Figura 2.17. Funcionamiento de la tarjeta MSI #940729F

El toroide mostrado en la figura 2.18 cumple la función de transformador reduciendo y repartiendo el voltaje, posee 2 entradas de 115 VAC y una de 15 VAC con puesta a masa (Carcasa).

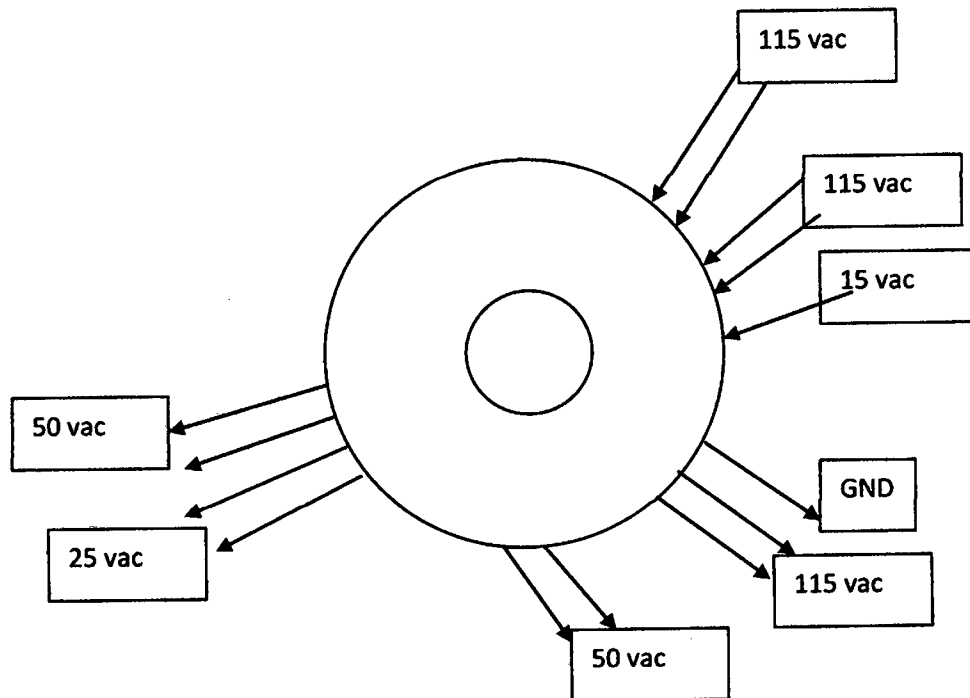


Figura 2.18. Toroide entradas y salidas de voltaje

El toroide alimenta al ventilador con 115 VAC, la cual es accionada por un relé de estado sólido SSRT-240D10 accionada con 15 VAC mostrada en la figura 2.19 y 2.20.

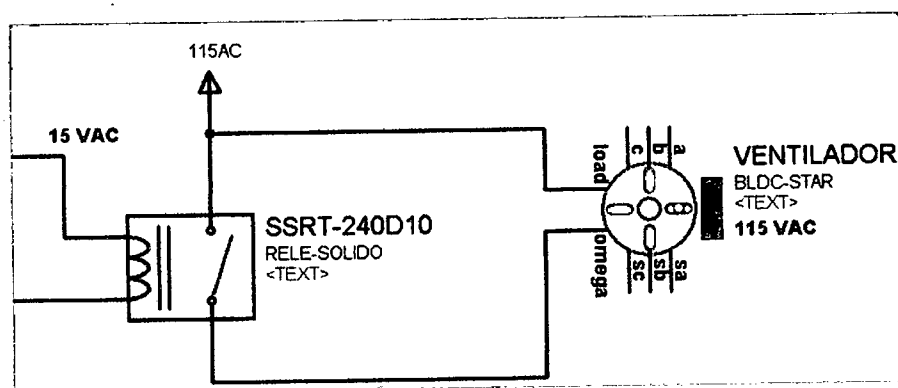


Figura 2.19. Esquemas de activación del ventilador.

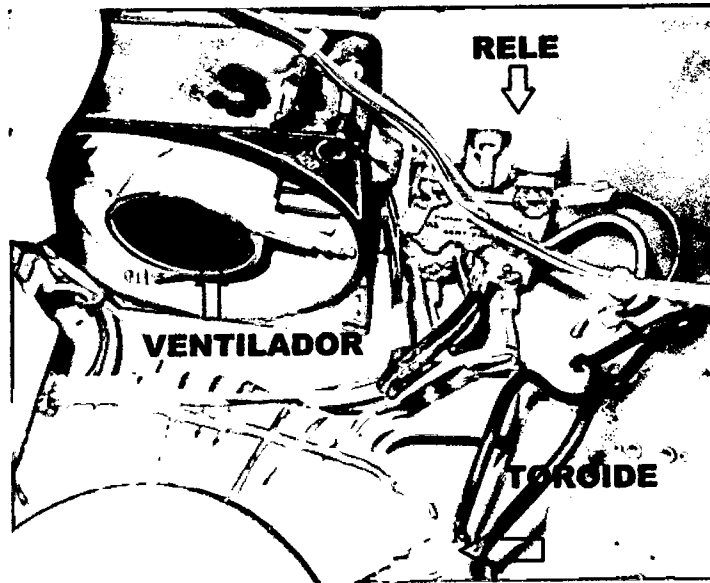


Figura 2.20. Ubicación del toroide, ventilador y relé en el C500.

El toroide proporciona una salida de 50 VAC los cuales son transformados a 50Vdc por el rectificador MB 351 que tiene una entrada Max. de 1000 Volts con una corriente de 35.0 Amperios este se encuentra funcionando correctamente.

La señal de 50VDC proporcionada por el rectificador es enviada a la tarjeta C5FBA 1.0 (Ver figura 2.21) que posee dos condensadores de 22000 uf estos elevan el voltaje de 50 a 70 VDC y también permiten el paso de 115 VAC filtrada, los condensadores protegen las demás placas contra los picos de voltaje.

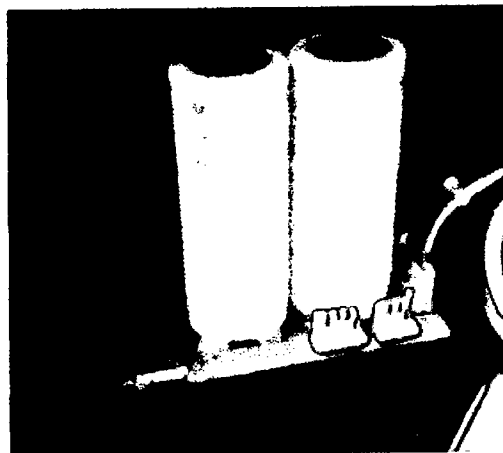


Figura 2.21. Tarjeta de Condensador C5FBA 1.0.

Los 115 VAC filtrados por los condensadores son enviados a la tarjeta TECTROL T070/10 mostrada en la figura 2.22 y 2.23 que es la fuente de conversión y distribución de voltajes para los circuitos integrados.

Esta se encarga de reducir y convertir los 115 VAC a -5, 12, -12 y 24 VDC necesarios para el funcionamiento de la etapa de control.

Los 24VDC generados por la fuente, es la tensión de alimentación necesarios para la desactivación de los frenos.

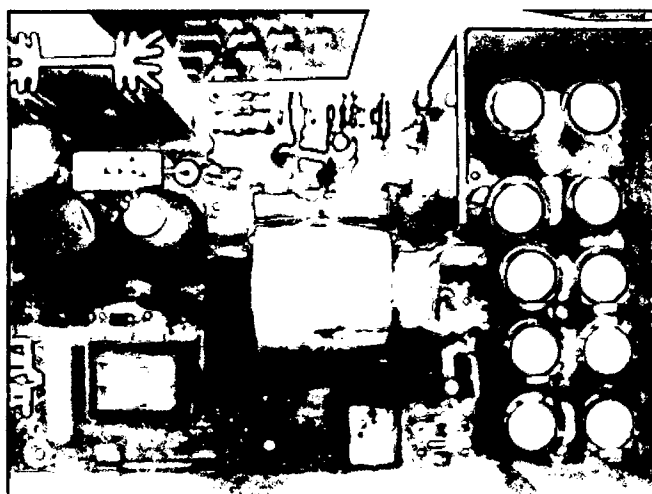


Figura 2.22. Fuente de alimentación TECTROL T070/10.

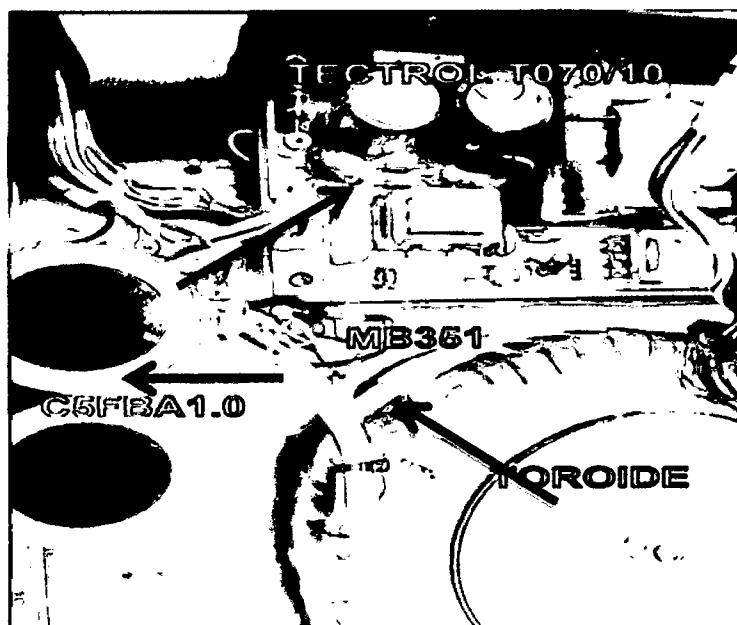


Figura 2.23. Ubicación del toroide y fuente del C500.

2.6.2. Etapa de potencia y aislamiento

2.6.2.1. La etapa de potencia:

Sirve para poner en funcionamiento los motores los cuales dan el movimiento a los eslabones, esta pone en funcionamiento los motores a través de los puentes H, esta posee dos tarjetas modelo R-PCB-952-0001 REV 2.0 (Ver figura 2.24) y series 11-98 y 11-99 cada una tiene 3 puentes H con generador de PWM estas se activan con una señal analógica de +5 y -5 VDC.

Del análisis de las tarjetas se observó que puede controlar motores de distintas tensiones nominales; además cada puente H posee protección contracorrente.

El voltaje de alimentación de las tarjetas es de +32Vdc y -32 VDC los cuales sirven para alimentar a los circuitos integrados LM324 y SG3524, este último es el generador PWM (Modulación de Ancho de Pulso) este es usado como elemento de control para aplicaciones de alta potencia, el LM324 se encarga de adaptar la señal analógica de entrada para la generación del PWM (Véase datasheet anexo 6); los puentes h son utilizados para controlar la velocidad de rotación y sentido de giro de los motores.

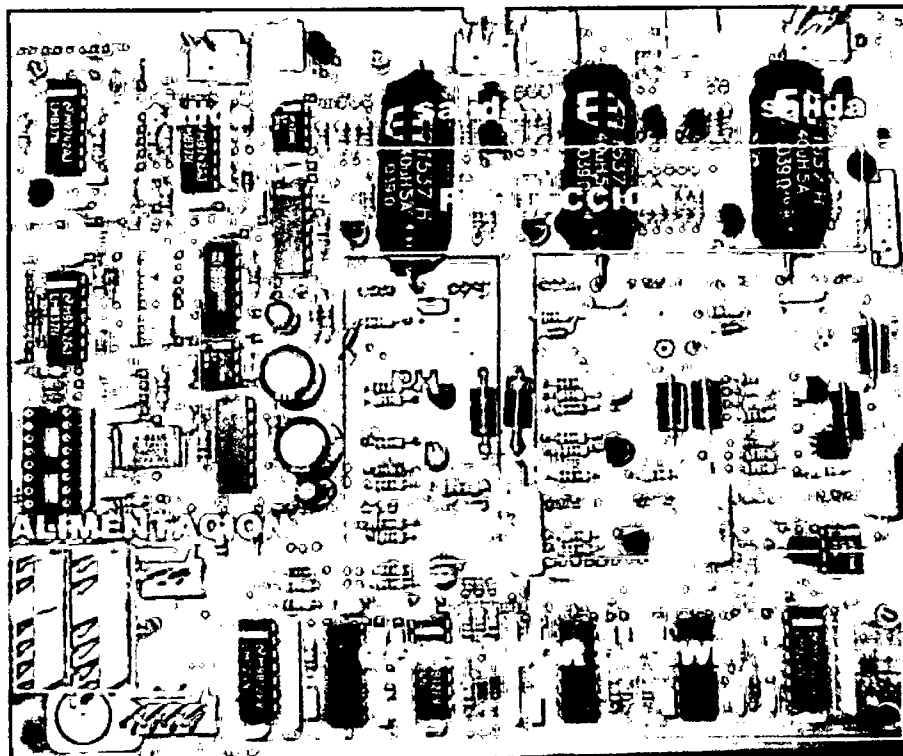


Figura 2.24. Tarjeta R-PCB-952-0001 REV 2.0

Cada par de salida tiene un voltaje max de $\pm 30\text{Vdc}$, para el robot CRS 255 se requiere de $+25$ y -25 Vdc , obteniendo un cambio de giro horario y antihorario mostrado en la figura 2.25.

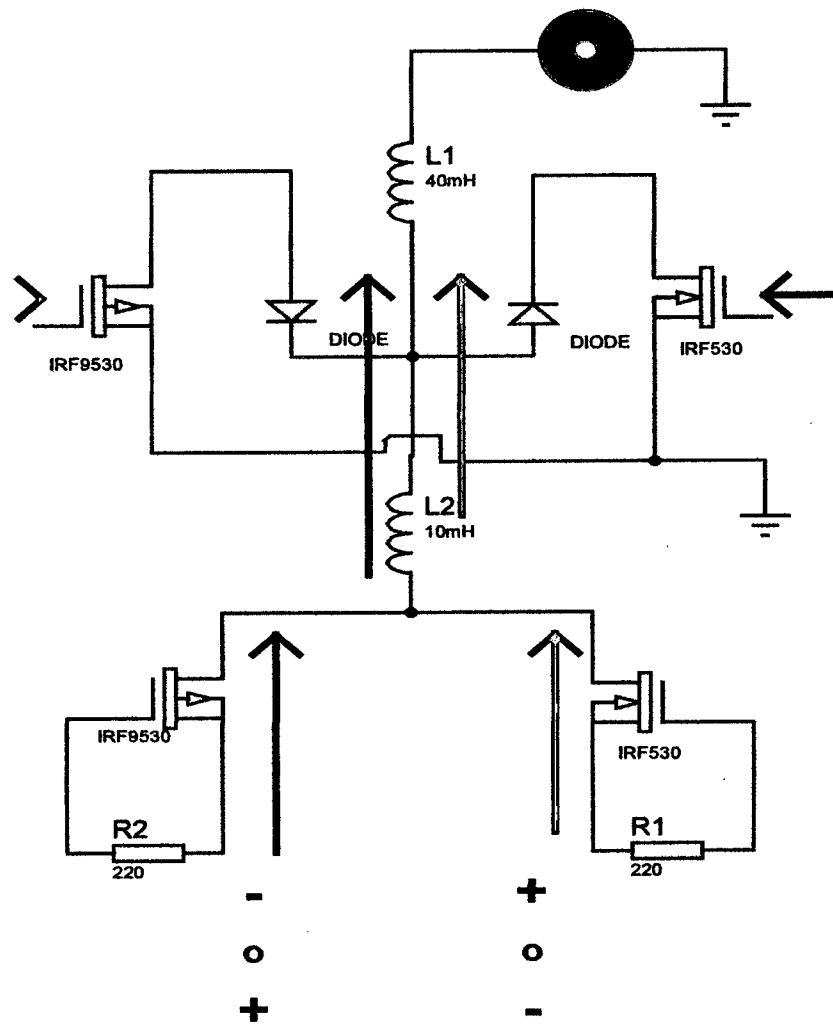


Figura 2.25. Esquema de funcionamiento del puente H del CRS A255

2.6.2.2. La etapa de aislamiento

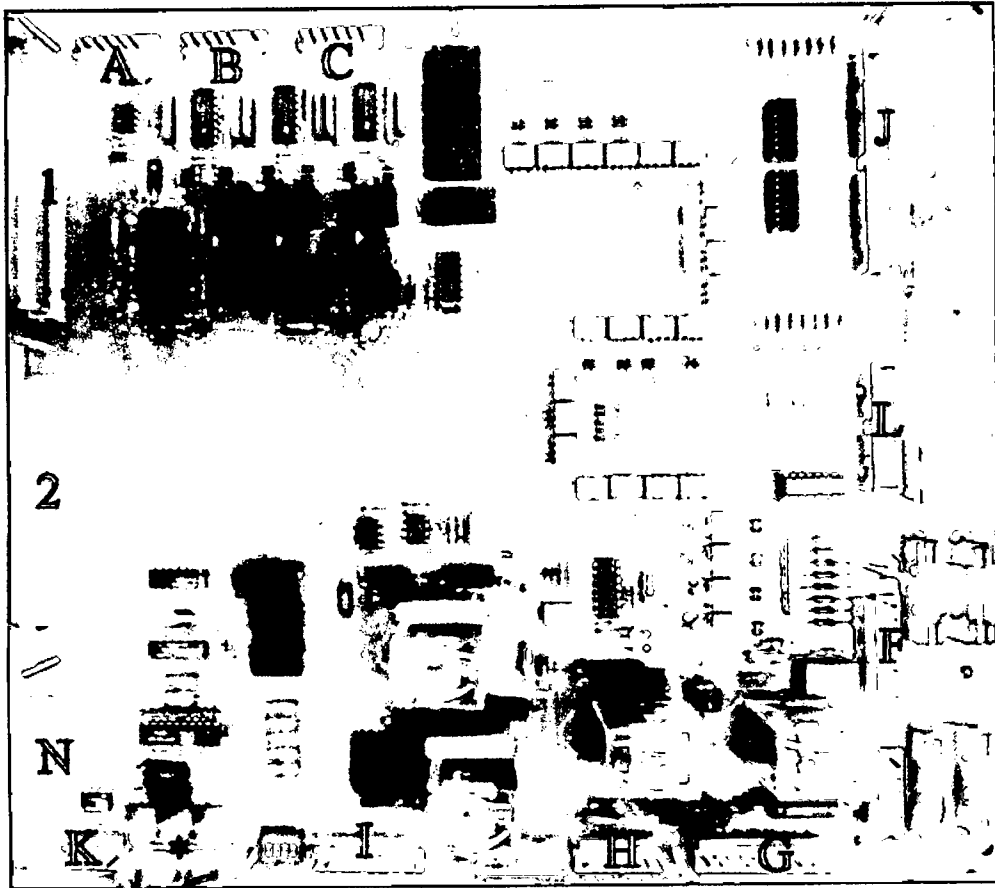


Figura 2.26. Etapa de aislamiento del controlador C500

En esta etapa (Figura 2.26) se aísla la etapa de transformación y de potencia de la etapa de control, las dos primeras trabajan con voltajes y niveles de corrientes muy altas, mientras que la de control con niveles de tensión y corriente muy bajas, es por eso que esta etapa es de suma importancia además se encarga de separar tanto las entradas como las salidas de los puertos GPIO (General Purpose Input Output) y SYSIO (System Input Output) del controlador

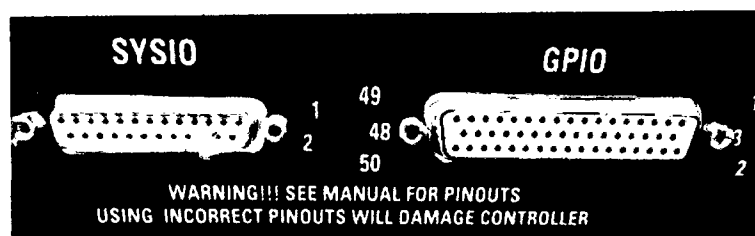


Figura 2.27. Conectores SYSIO y GPIO

El puerto GPIO (Ver figura 2.27) controla y supervisa los eventos externos, cuenta con 16 entradas y 16 de salida aisladas; parte de ellas de operador de relé de corriente baja, aisladas ópticamente, además cuenta con cuatro salidas de relé de contacto de 3 amperios, este conector es de tipo femenino DD-50S.

El puerto SYSIO sirve para establecer una panel remoto, es decir se puede duplicar el panel frontal del controlador C500; al igual que el GPIO las entradas son aisladas ópticamente, las salidas son de 24V a 50 miliamperios adecuados para encender indicadores de baja corriente, este es un conector femenino DB-25S.

La correcta utilización de estos puertos es de mucha importancia, caso contrario puede dañar la etapa de control y de potencia.

La fuente de alimentación de los dos puertos debe ser la misma ya sean internas o externas.

No provocar un cortocircuito en las salidas de los puertos por más de 30 segundos.

El puerto SYSIO y el de comunicación poseen el mismo tipo de conector, pero estos jamás deben ser confundidos y conectados a un ordenador, debido a que los niveles de voltajes no son los mismos ocasionando daño al controlador.

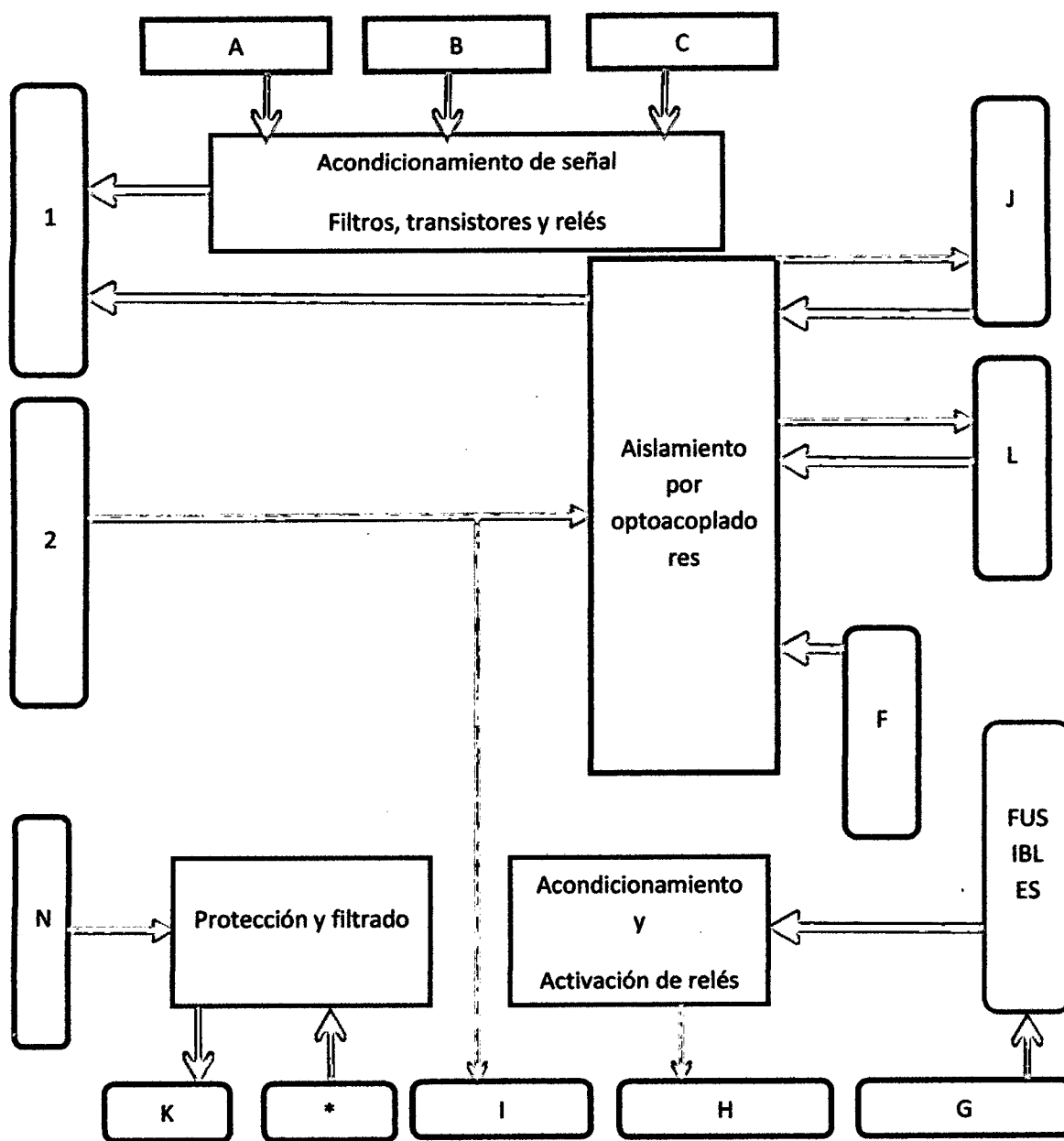


Figura 2.28. Diagrama de funcionamiento de la etapa de aislamiento.

De la figura 2.28 y la figura 2.26, el conector J y l pertenecen a los puestos GPIO Y SYSIO respectivamente, una vez la señal es filtrada y modulada esta es enviada a la etapa de control por el conector uno (1) y recibe las respuestas del control por el conector dos (2); los conectores A,B Y C son los que reciben la señal de bloqueo de motores, proveniente de los interruptores CB1,CB2,CB3,CB4,CB5 y CB6 del panel frontal estos inhabilitan las articulaciones que se desean del brazo robot.

El conector N recibe las señales provenientes de los interruptores del panel frontal como el de reset, armpower. El Conector K alimenta a los frenos, las señales de activación de frenos y transistores llegan al conector (*), a través del conector G llega la alimentación de +32 VDC y -32 VDC el cual es acondicionado y se entrega a los puentes-H por el conector H, las señales analógicas de control provienen de la tarjeta de control y son entregadas por el puerto I.

2.6.3. La etapa de control

El cerebro del controlador es la tarjeta R-PCB-C5CTR 3.0 (Ver figura 2.29) la parte neural del brazo robot, este memoriza y ejecuta las instrucciones recibidas, en ella se establece las comunicaciones con la Pc.

La etapa de control es la unidad de procesamiento de toda la información enviada desde una PC o el Pendant, una de sus características (Ver tabla 2.15) trabaja con bajos niveles de corriente y voltaje.

Tabla 2.15.

Características de la etapa de control

Características del Hardware	
Procesador	Intel i287- 480/100 MHz
Ejes	8 ejes + servo griper
Memoria	4MB RAM- 1MB FLASH
Comunicación	RS232, 115.2 Kbaud
Temperatura	+10 a +40 °C

Nota. Adaptado de CRS Robotics. Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección control

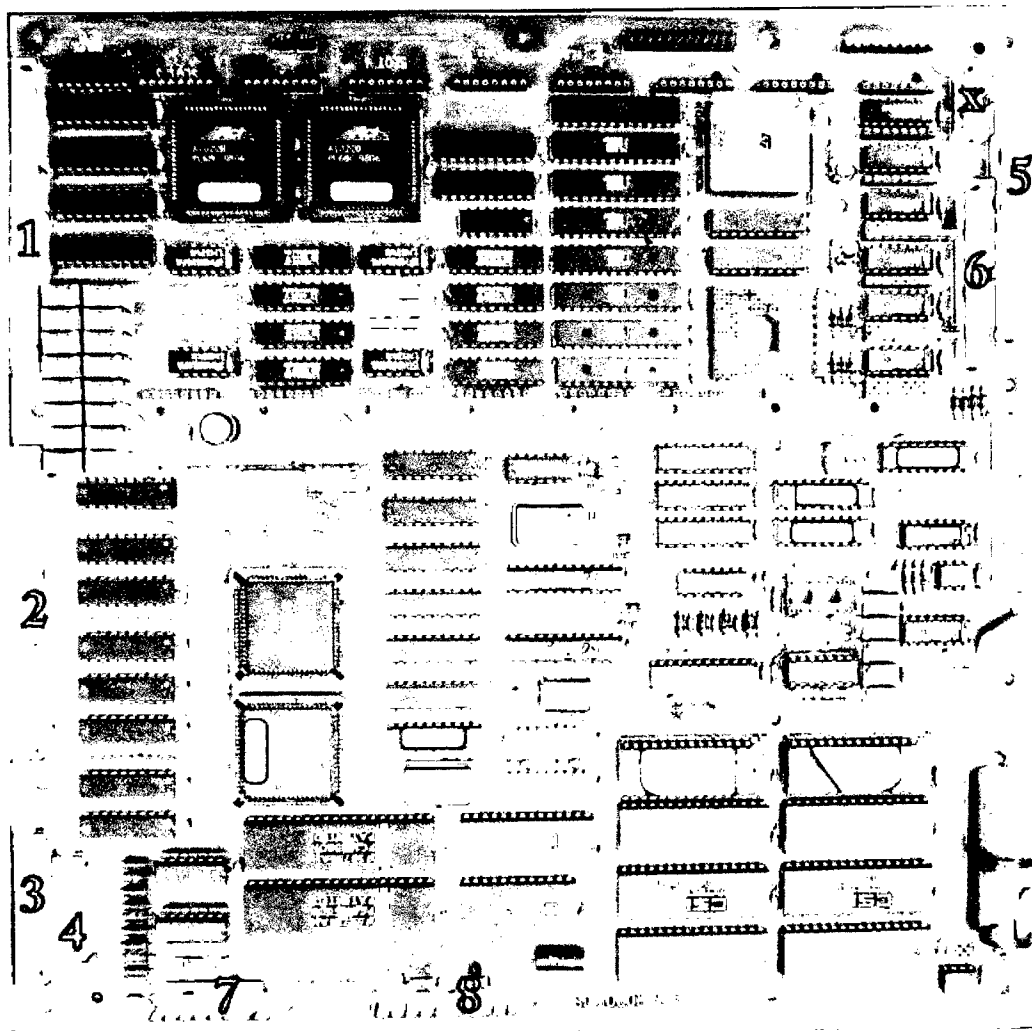


Figura 2.29. Tarjeta controladora R-PCB-C5CTR 3.0

De la figura 2.29 y 2.30, el conector 1 es la entrada de señales acondicionadas al controlador, las señales de mando son enviadas a las demás etapas por el conector 2, los conectores 3 y 4 son para la comunicación PC y Tech pendant respectivamente, por el conector 7 se suministra energía para el funcionamiento de los frenos; a través del conector 8 se suministra la energía de alimentación para los integrados y frenos, por el conector 5 entran las señales de encoder, el conector 6 es de ampliación en él se pueden introducir nuevos dispositivos de baja potencia, el conector X suministra la energía de alimentación para los encoders.

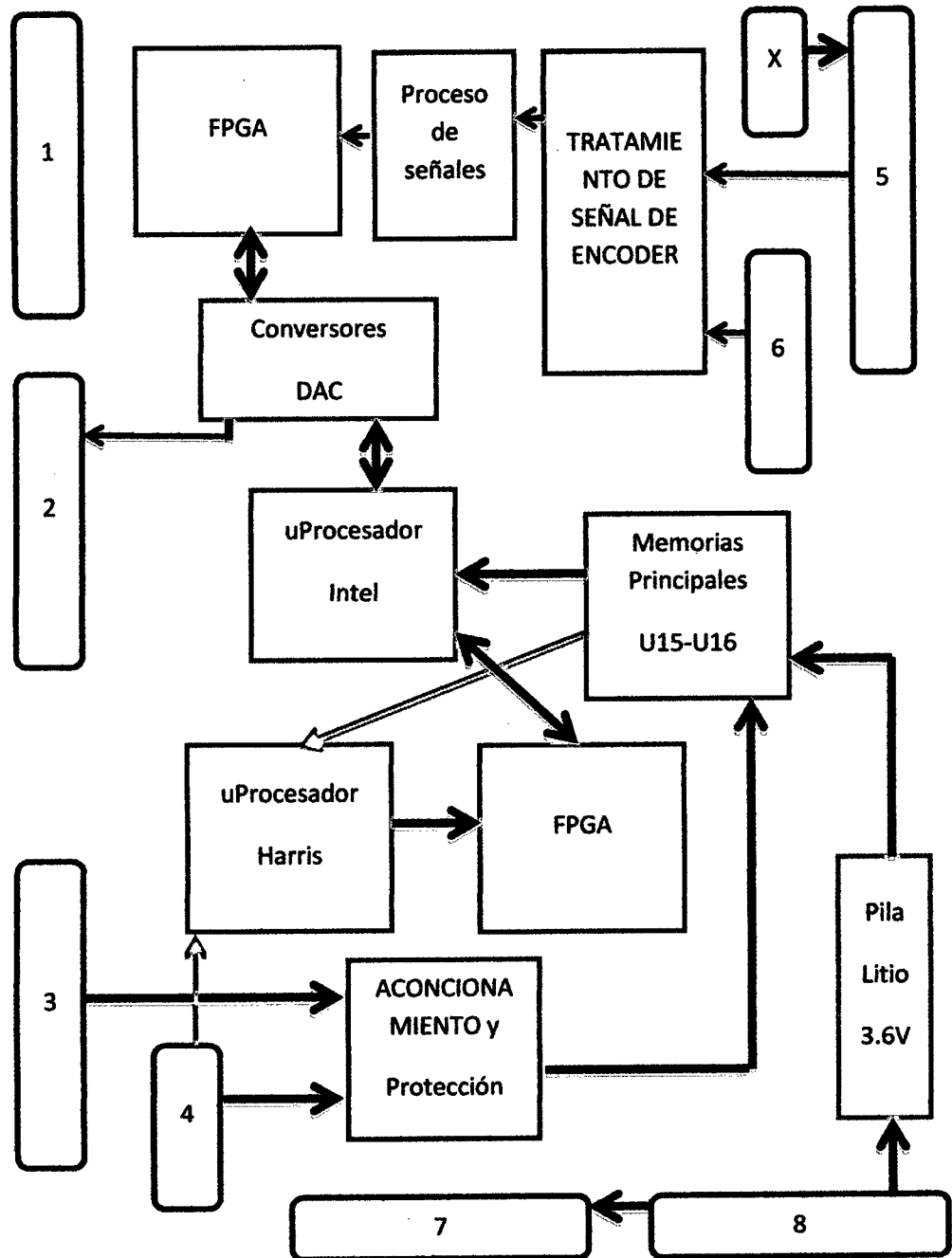


Figura 2.30. Diagrama de funcionamiento de la etapa de control

CAPITULO 3

3. DIAGNOSTICO DE AVERIAS Y REPARACIONES REALIZADAS.

3.1 DIAGNOSTICO DEL BRAZO ROBOT A255.

La estructura mecánica del robot CRS A255 del laboratorio de Mecatronica de la Universidad Nacional de Piura (Figura 3.1) se encuentra en buen estado de conservación se inspecciono de forma visual y generando movimiento, que las articulaciones no presentasen obstrucciones o juegos.

Los paneles de protección, las cadenas y engranajes se encuentran en un buen estado por tener larga vida útil y que el robot estuvo operando por un corto periodo e inoperativo por más de 10 años, la base del robot y su sistema de translación no tuvieron el mantenimiento adecuado, estas se encuentran rígidas por la falta de lubricación y mantenimiento, se procedió a retirar las partículas y otros elementos extraños que se incrustaron en los mecanismos.

El desmontaje del brazo no es posible ni aconsejable debido a que es un mecanismo calibrado, la posición y tensión de cada engranaje, rodamiento y cadena es calibrado por el fabricante.

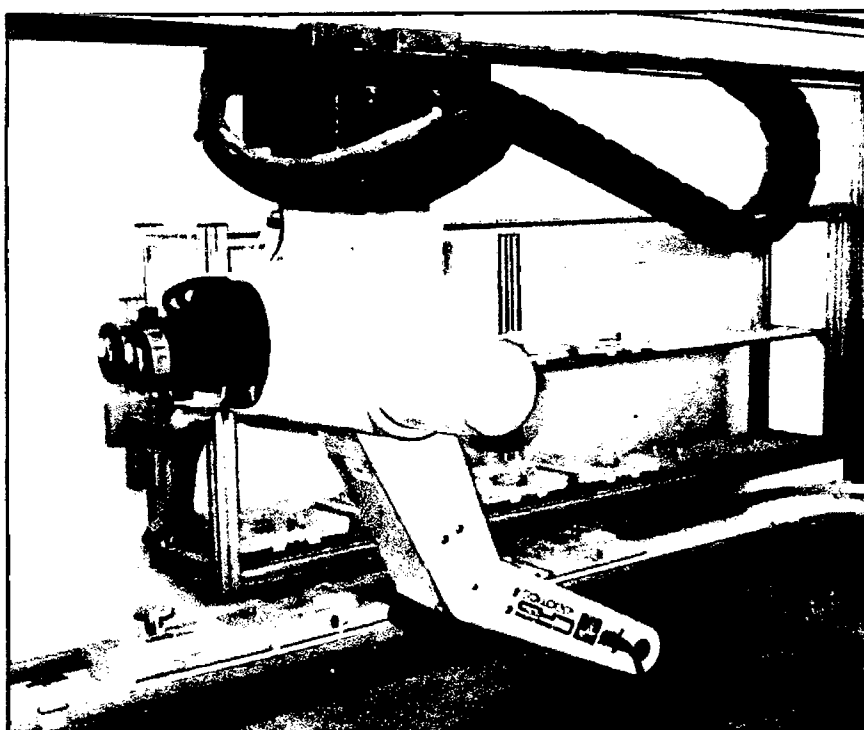


Figura 3.1. Brazo robot CRS A255 del laboratorio de la Universidad Nacional de Piura.

Como se menciona en el capítulo dos el brazo cuenta con cinco motores por cada grado de libertad y uno para su traslación todos del mismo tipo, el gripper no cuenta con el servomotor este fue extraído, dejando al efector final no operativo.

Los cables de transmisión de señal y de potencia mencionados en el capítulo 2 apartado 2.6, se encuentran en buenas condiciones se procedió a verificar la resistividad de cada pin de entrada y salida y estos poseen continuidad, por lo que la transmisión es correcta.

3.2. El controlador C500

Como se mencionó en el capítulo 2 sección 2.7 dentro del controlador se ubica la parte eléctrica y electrónica que hace funcionar el brazo robot, para su revisión procederemos según el esquema de la figura 3.2.

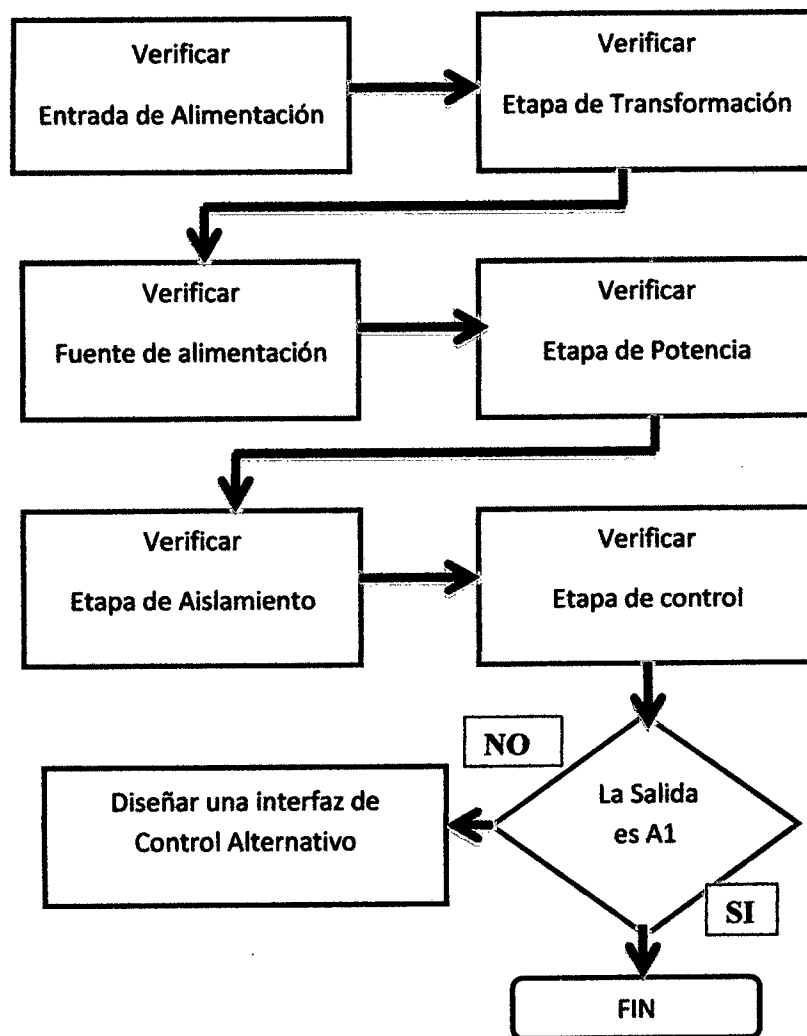


Figura 3.2. Diagrama del proceso de verificación.

Antes de desmontar el controlador se procedió a energizar el controlador, para ver el estado de funcionamiento y condiciones ya que este controlador tuvo varios intentos de reparación; el display de verificación como el ventilador disipador no responde.

3.2.1. Diagnóstico y reparaciones en la entrada de alimentación

Se encontró correctamente ubicado el selector de voltaje a 230VAC (Ver figura 2.14) se midió tensión en las salidas del selector y no se registró ninguna medida. Se desmontó el selector y se revisaron los dos fusibles de protección, se encontró un fusible dañado como se muestra en la figura 3.3, se procedió al cambio de este con otro de las mismas características.

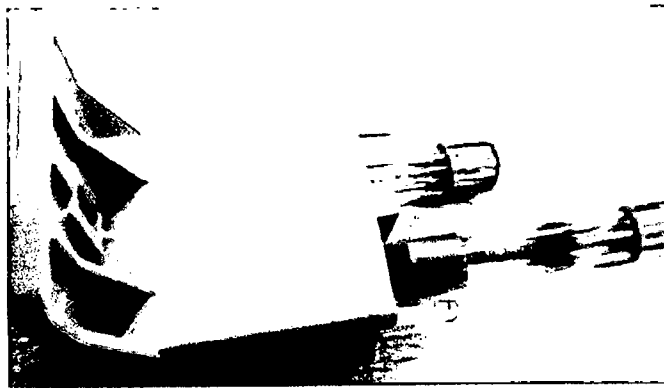


Figura 3.3. Caja selectora de voltaje y fusible dañado.

Se repitió la prueba de encendido y comprobó las salidas de alimentación del selector y se registró una tensión de 218 VAC que entran directamente al filtro 10ESK1 (Figura 3.4) este arroja el mismo voltaje pero filtrando los picos de frecuencias altas y bajas.

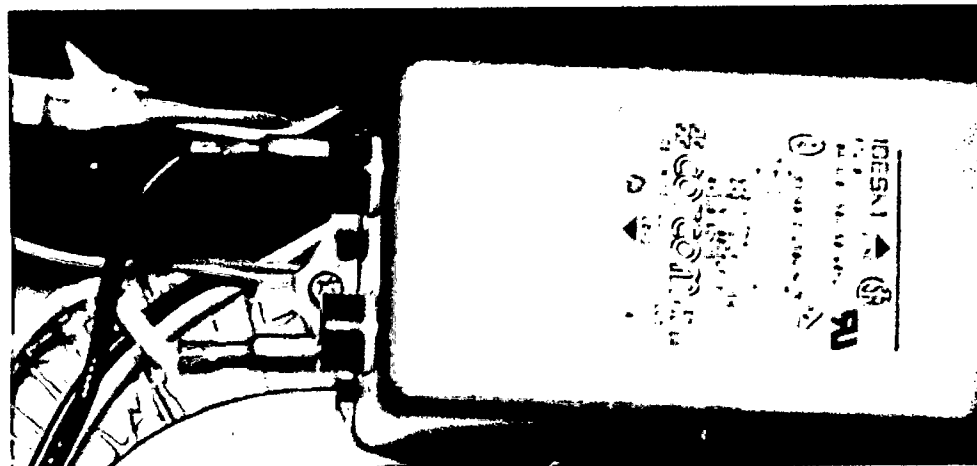


Figura 3.4. Filtro 10ESK1.

El ventilador disipador se encontró inoperativo porque este requiere para su activación 115 VAC (Figura 2.17), esta tensión proviene de la placa MSIH #940729F la cual se encontró dañada.

El relé de estado sólido SSRT-240D10 (Figura 3.5) se encontró malogrado este no cumple con su función de activación con retardo y envió de tensión al toroide y ventilador.

Este fue remplazado por un nuevo relé de estado sólido serie HD4825-10 de las mismas características que el anterior.

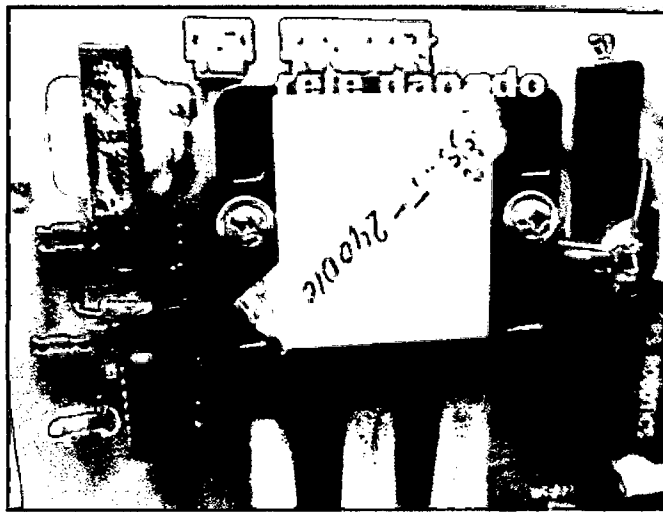


Figura 3.5. Tarjeta MSIH#940729F

Además se ubicó de forma visual y se comprobó con un multítester que una de las vías se levantó (Figura 3.6) esta fue reforzada y corregida.

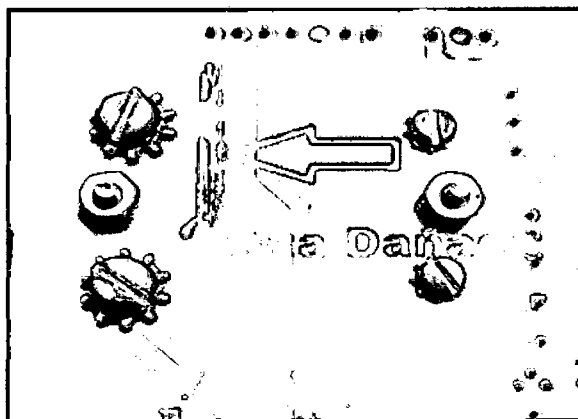


Figura 3.6. Pista dañada de la tarjeta MSIH#940729F

Corregido estos problemas se procedió a comprobar el funcionamiento, el ventilador funciona perfectamente y los niveles de tensión vuelven a establecerse, y se observó que el indicador de estado del panel frontal no marca ningún valor.

3.2.2. Diagnóstico y reparaciones en la etapa de transformación

El filtro 10ESK1 (Figura 2.16) se encuentra operativo y funcionando correctamente los niveles de voltaje y frecuencia son los correctos 219 VAC a 60Hz, el voltaje puede variar dependiendo de la entrada de alimentación pero la tensión no puede sobrepasar los 230 VAC.

El transformador toroidal principal entrega correctamente los voltajes como se indica en la figura 2.18, la salida de 50VAC es rectificada a través del rectificador MB351 y amplificada por la tarjeta C5FBA 1.0 esta entrega dos voltajes -33VDC y +33VDC con respecto a tierra, además esta tarjeta deja el paso de 115VAC que sirven para alimentar la fuente TECTROL T070/10.

3.2.3. Diagnóstico y reparaciones en la fuente de alimentación

La fuente de alimentación TECTROL T070/10 se encontró inoperativo se comprobó el fusible, la tensión de alimentación y componetes, esta posee salidas de tensión DC fijadas por reguladores de voltajes (Ver tabla 3.1).

Tabla 3.1.

Reguladores de la fuente TECTROL T070/10

Código	Voltaje (Voltios)
LM7905	-5
LM7912	-12
Regulado por transformador	+12
LM317	+24
Regulado por transformador	+5

Nota. Datos obtenidos de la inspección y análisis de las características de los CI de la fuente TECTROL.

El regulador LM7912 se encontró literalmente destruido, se reemplazó por uno nuevo se verifico el estado de los demás reguladores, visualmente no presentan daño estos están en buen estado se procedió a cambiar los filtros deteriorados de la salida de voltajes.

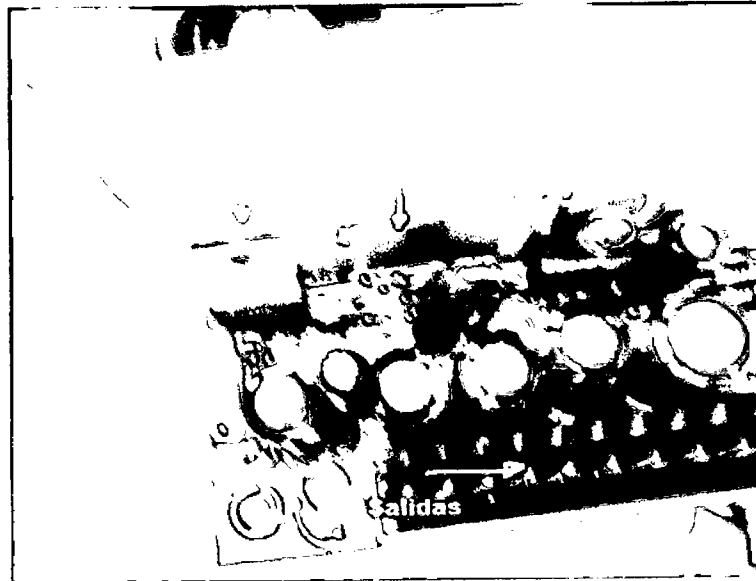


Figura 3.7. Salidas de voltaje de la fuente TECTROL T070/10.

Se verifico la alimentación de la fuente y se suministró la tensión de funcionamiento; no se registró ninguna lectura de voltaje en las salidas de la fuente (Figura 3.8), se verifico el estado del transformador principal está dañado y no tiene reemplazo por no ser comercial.

La fuente TECTROL T070/10 esta inoperativa no fue posible su reparación, pero de esta se obtuvieron los niveles de voltajes necesarios para el funcionamiento de la etapa de control.

3.2.4. Diagnóstico y reparaciones en la etapa de potencia

La etapa de potencia compuesta de dos tarjetas modelo R-PCB-952-0001 REV 2.0 (Figura 2.24) series 11-98 y 11-99 cada una de ellas dispone de 3 puentes H.

Se verifico cada tarjeta, la serie 11-98 arrojó como salidas a motor 24 voltios por el tercer puente H sin recibir una señal de activación mientras que las dos primeras no arrojaban ningún señal de voltaje. Se procedió a revisar los componentes principales esta tarjeta posee dos reguladores de voltaje LM337 y LM317 además de 12 transistores tipo Mosfet NPN Y PNP, se realizó las respectivas mediciones de diodo y Continuidad

encontrándose tres transistores IRF530 y tres IRF9530 en continuidad lo cual indica que se encuentran dañados se procedió a remplazarlos por los IRF540 y IRF9540 que tienen la misma configuración pero con mayor paso de corriente (Véase datasheet anexo 7).

Se sacó el disipador y remplazo los elementos dañados como se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.8. Ubicación y remplazo de los transistores MOSFET dañados.

Las dos tarjetas son gemelas, es decir poseen la misma configuración de componentes y ruteo, en la parte posterior de la tarjeta 11-98 se localizó un error de fábrica el diodo zener 1n4689 de 5.1V no fue colocado, se procedió a poner un equivalente de similares características el 1n4733 de 5.1V como se muestra en la figura 3.10.

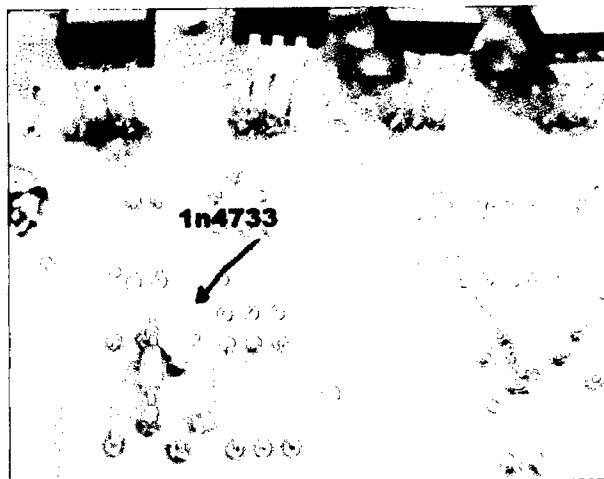


Figura 3.9. Ubicación del diodo zener 1n4733

Hecho los cambios respectivos se procedió a alimentar las tarjetas y probar las salidas, se logró que todas las salidas sean cero cuando no se proporciona una señal de activación; con una señal de activación de 0 a 5VDC se procedió a medir las salidas de voltaje, no se obtuvo lectura de tensión de ningún puente H y los reguladores de voltaje se calientan muy rápidamente, se procedió a medir voltaje en los reguladores y este fluctuaba en la generación de voltaje positivo +16VDC, se procedió a realizar el cambio de los dos reguladores ya que trabajan en conjunto para entregar +16VDC y -16VDC una vez hecho el cambio la tarjeta no funciono apropiadamente, se realizó un rastreo de señal y se encontraron problemas con los CI SG3524 generadores del PWM estos no realizaban su trabajo, se remplazaron los tres y sus respectivos amplificadores operacionales LM324 que arrojaban voltajes sin entradas de activación (Figura 3.12).



Figura 3.10. Ubicación de los generadores PWM en la placa R-PCB-952-0001 REV 2.0.

La tarjeta de la serie 11-99 arrojó como salida en el segundo puente H 23.5Vdc sin señal de activación se procedió como en el anterior caso a revisar los transistores tipo mosfet, ubicándose dos transistores dañados IRF530 e IRF9530 se procedió a realizar el cambio este quedó operativo, se procedió además como medida preventiva medir las salidas de los C.I SG3524 estos responden perfectamente a las señales de mando.

3.2.5. Diagnóstico y reparaciones en la etapa de Aislamiento

Esta etapa consta en mayor parte de optoacopladores y relés (Figuras 2.26 y 2.28), los conectores GPIO y SYSIO transmiten sus señales a través de Flags estos se encuentran en buen estado se señalizan con letras y números para su mejor identificación en esta etapa no se encontraron elementos dañados pero muchos de los conectores de señal no

estaban colocados en su lugar, se observó que esta etapa también fue manipulada en un intento de reparación o cambio de elementos de los cuales no se tiene registro.

3.2.6. Diagnóstico y reparaciones en la etapa de Control

Por inspección visual se observó que la tarjeta de control ya fue manipulada y tubo intentos de reparación como las demás etapas, no se obtuvo ningún registro ni notas de que elementos se cambiaron o removieron, se observó en la parte trasera de la tarjeta que esta fue forzada y muchos de los pines de los componentes se encontraron en corto por la presión y mala manipulación de la tarjeta; se procedió a recortar las patillas sobrantes y limpiar las pistas de señal.

Se ubicó la entrada de energía de alimentación de la tarjeta de control esta proviene de la fuente TECTROL T070/10 se tomó como referencia los pines de los conectores que tienen salidas fijas de tensión y las características de alimentación de los integrados para determinar los voltajes por pin, se proporcionó y alimento con una fuente externa al controlador para satisfacer los voltajes requeridos; ya que la fuente TECTROL T070/10 no está operativa, conectados todos los flags y conectores de alimentación se procedió a encender el controlador dando como resultado en el indicador de estado del controlador FF que significa error de programa es decir que no se puede acceder a memoria, la BIOS no encuentra la pila de inicialización del controlador.

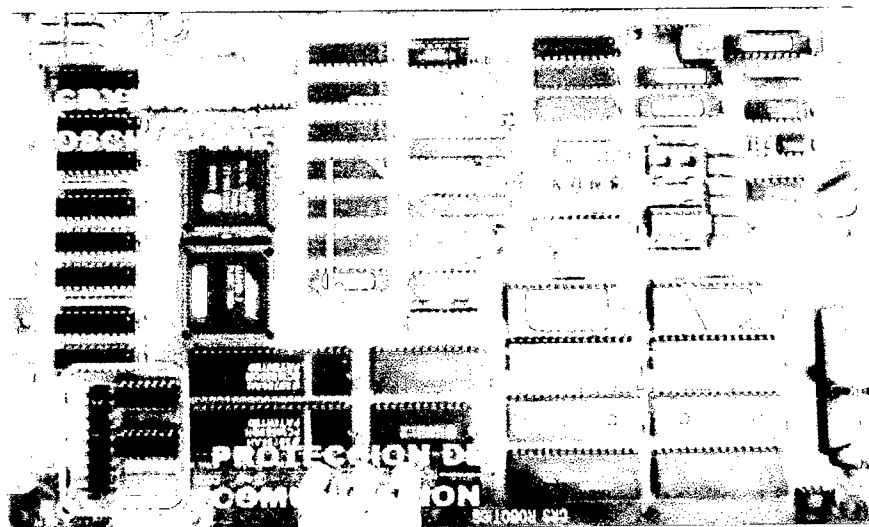


Figura 3.11. Ubicación de las memorias y cristales externos de la etapa de control

Se comprobó la alimentación de cada integrado de la tarjeta de control, cada uno de ellos funciona correctamente, además se comprobó a través del osciloscopio la frecuencia de trabajo (Figura 3.13) de los microprocesadores, microcontroladores y fpga's todos ellos cumplen con lo establecido, dejamos descartado la inutilización de algún circuito integrado.

Se procedió a probar la comunicación con el Tech Pendant el cual es independiente a la comunicación con la PC, se conectó al panel frontal del controlador y este no respondió su interfaz visual no muestra ninguna respuesta se revisó los diodos de protección entre el Tech Pendant y el controlador, encontrándose estos en buen estado; se procedió a revisar el Tech Pendant y se observó que fue manipulado y este no se guardó apropiadamente, parte de la PCB se quebró, se intentó reparar pero no se obtuvo respuesta alguna el tech Pendant, se encuentra inutilizado.

CAPITULO 4

4. DISEÑO DE ICORO (INTERFAZ DE CONTROL ROBÓTICO).

4.1. DISEÑO DEL SISTEMA TELEOPERADO CON ICORO.

El objetivo es diseñar una interfaz de control para el brazo robot CRS A255 para su funcionamiento, esta interfaz está pensada para adaptarse a los requerimientos de las tarjetas 11-98 y 11-99 que son las etapas de potencia para el accionamiento de los motores del brazo robot A255, en este proyecto se emplearon los joystick para adaptar un sistema teleoperado (Figura 4.1); el brazo CRS A255 consta de 5 grados de libertad pero el de la Universidad Nacional de Piura tiene un carro transportador accionado por un motor DC y una faja dentada.

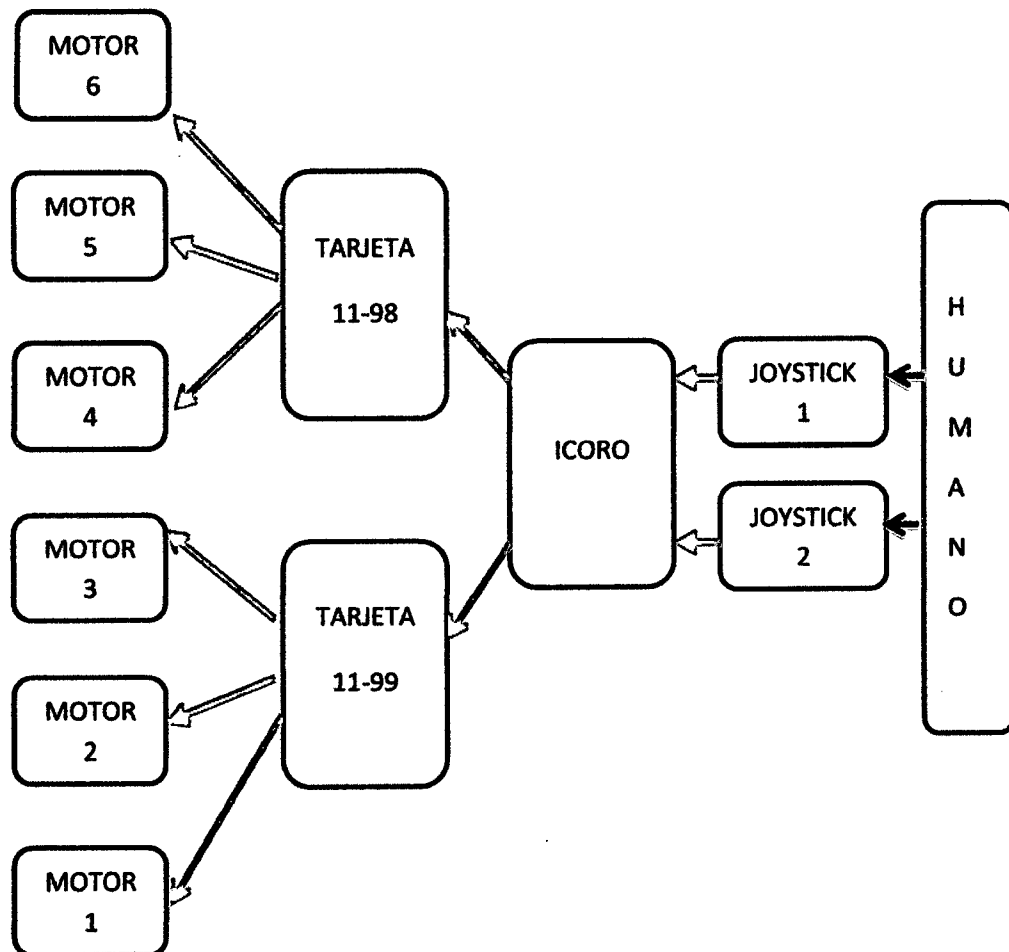


Figura 4.1. Funcionamiento del brazo robot A255 con ICORO.

4.1.1. Esquema del mando o control

De la figura 4.1 necesitamos dos joysticks, para nuestro caso modificamos el interior de los joystick, debido a que estos vienen configurados para videojuegos; pero el diagrama interno (Figura 4.2) es el utilizado en la mayoría de joystick analógicos.

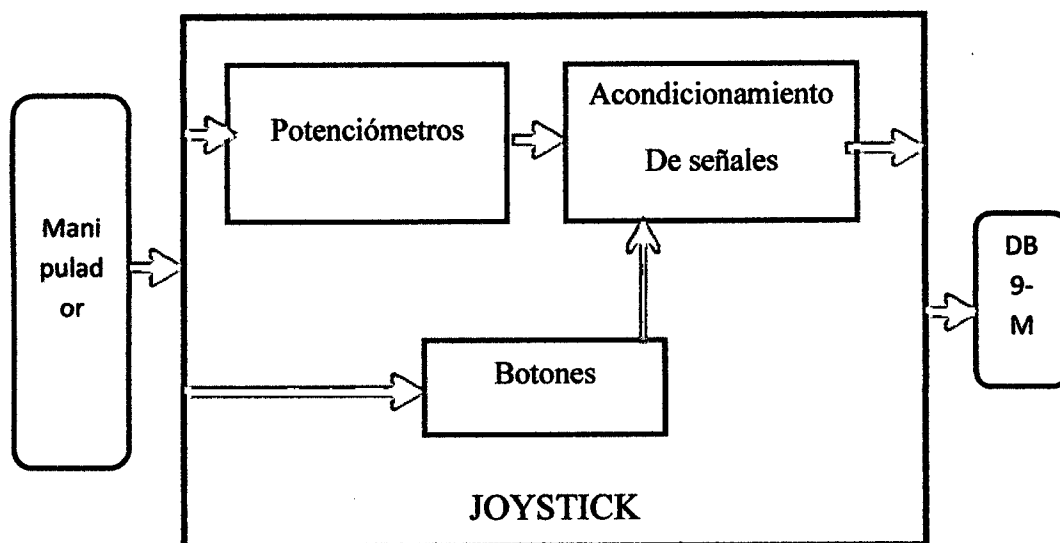


Figura 4.2. Lógica del funcionamiento del joystick

4.1.2. Esquemas de funcionamiento de ICORO

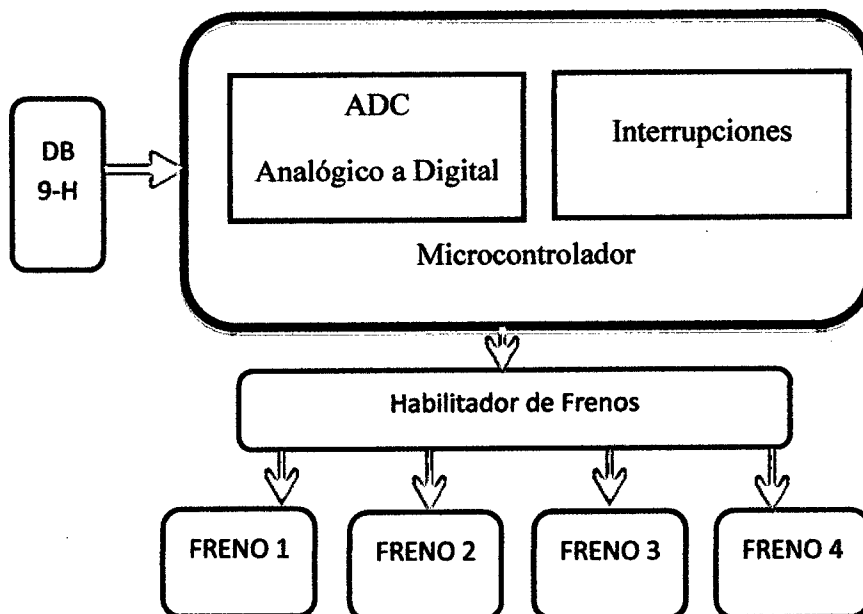


Figura 4.3. Diagrama del control para frenos

La figura 4.3 se muestra el esquema de activación y desactivación de frenos, estos permiten la movilidad de las articulaciones que es controlado por el sistema de control de motores (Figura 4.4).

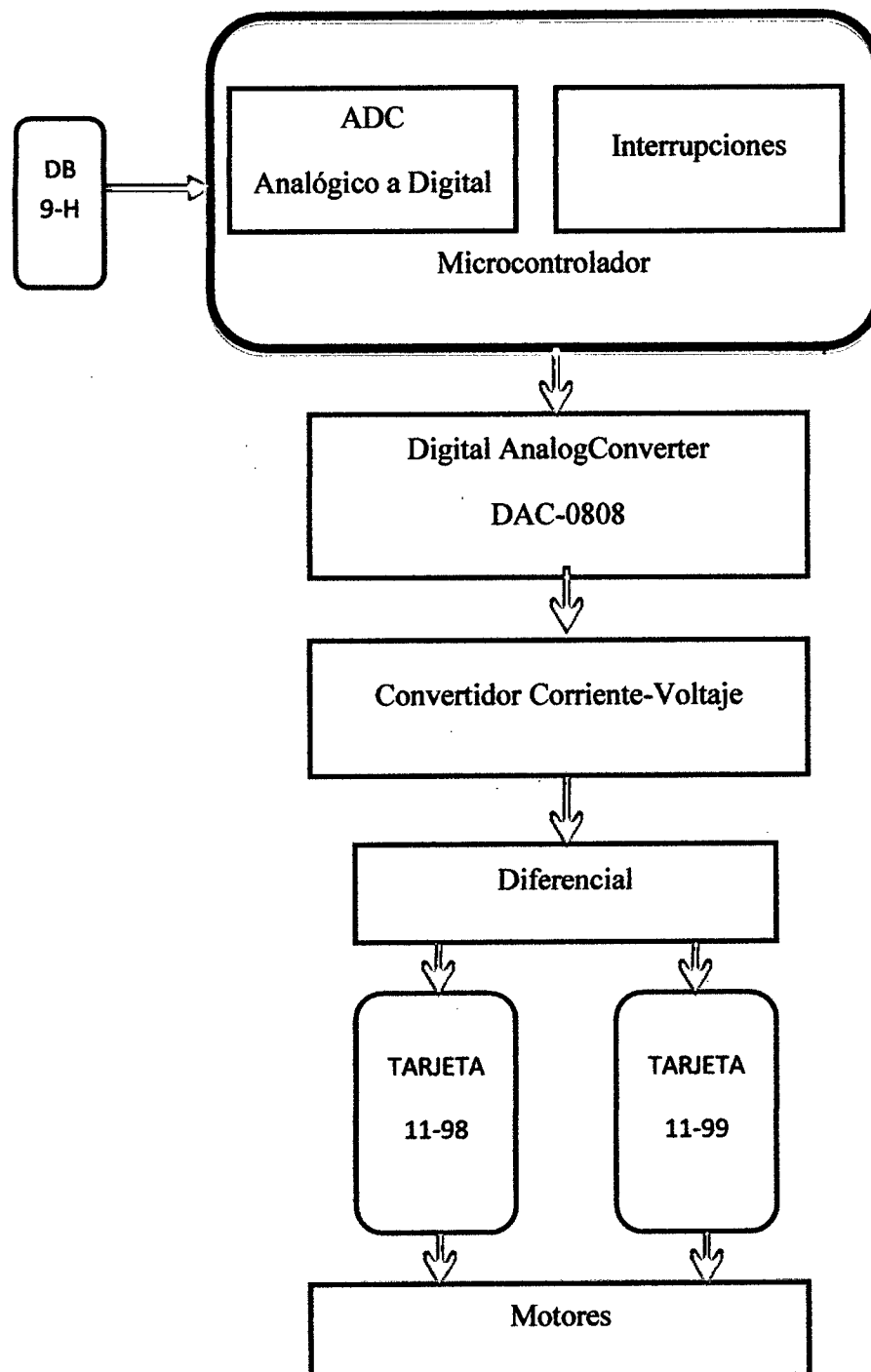


Figura 4.4. Diagrama para el control de los Motores.

4.2. DISEÑO DE LA PALANCA DE MANDO O JOYSTICK.

El joystick utilizado será del tipo analógico es decir que la señal analógica estará determinada por la posición de los potenciómetros, dos potenciómetros necesarios para dos ejes de control llamados comúnmente X e Y, este tipo de configuración es la más utilizada en palancas de mando analógicos de dos ejes;

En el prototipo de ICORO se utilizó unas palancas de mando para juegos de computadora este posee internamente la misma configuración que un tipo industrial a un menor costo, pero no posee los elementos de protección ni la vida útil de este.



Figura 4.5. Joysticks prototipo GeniusGamers

A simple vista los joysticks son diferentes visualmente (Figura 4.5) pero internamente poseen la misma configuración para su funcionamiento, estos poseen una salida USB para PC que viene de fábrica los cuales fueron adaptados y se optó por un cable umbilical y conector DB9 los cuales nos proporcionarían entradas y salidas de señal independientes de los botones y potenciómetros (Ver imágenes de lo joystick usados en anexo 8).

Para este proyecto cada potenciómetro está configurado como divisor de voltaje (Figura 4.6) los cuales proporcionan una salida de voltaje variable al accionamiento de la palanca de control el valor de los potenciómetros de J1 y J2 es 100Kohm y 10K ohm respectivamente con $\pm 5\%$ de error

La posición inicial es del 50% del valor nominal del potenciómetro cuando la palanca de control esta sin accionar.

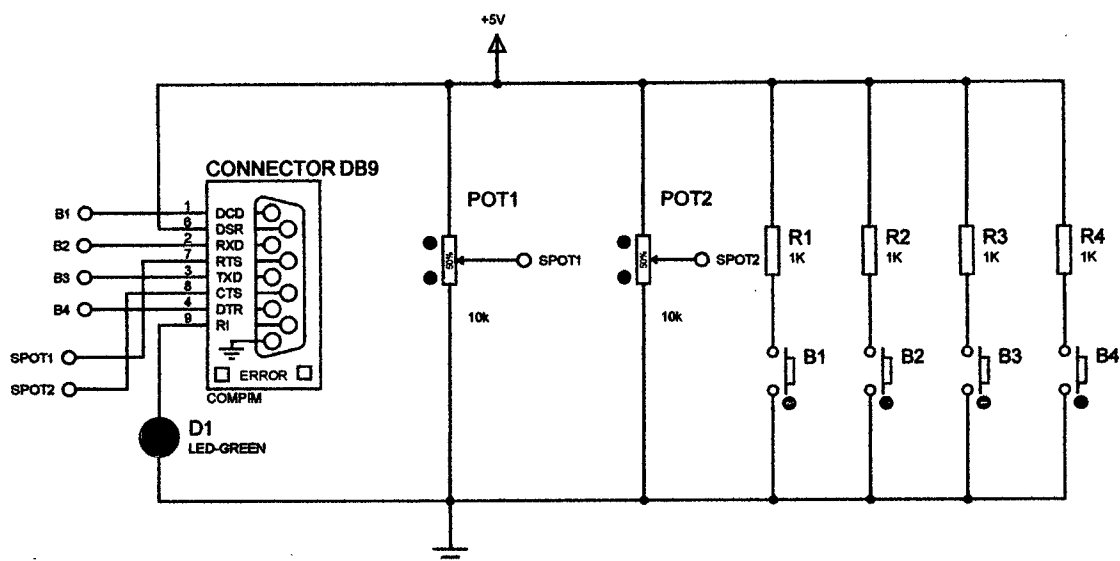


Figura 4.6. Circuito interno de los joystick

El conector DB9 (Ver tabla 4.1) de ambos joysticks fue configurado para dar las siguientes señales de entrada y salida al controlador ICORO.

Tabla 4.1

Configuración de los puertos DB9.

Nº PIN	Color cable	señal
1	Amarillo	5V DC/output
2	Azul	5V DC/output
3	Verde	5V DC/output
4	Naranja	5V DC/output
5	Negro	GND
6	Rojo	Alimentación/input
7	Plomo	[0,5V] DC/output
8	Marrón	[0,5V] DC/output
9	-	Indicador de conexión

Nota. Valores asignados para cada pin, el indicador de conexión es optativo.

4.2.1. Calculo de corriente y potencia en los joysticks

Calculando los niveles de corriente y potencia utilizados en el funcionamiento de los joysticks, teniendo como alimentación +5Vdc los potenciómetros y la configuración

pull-down de los botones de mando, nos basaremos para el cálculo en los potenciómetros y resistencias de los joystick del prototipo.

$$P = I^2 * R \text{ watts}$$

Tabla 4.2.

Valores de los componentes internos del joystick 1.

Resistencias	Valor (KOhm)	Valor divisor (KOhm)	Corrientes (mA)
POT1	96.7	50.5	0.11
POT2	98.8	51.5	0.11
B1	1	-	5
B2	1	-	5
B3	1	-	5
B4	1	-	5

Nota. Ohm=Ohmios, A= Amperios. Medidas tomadas sin tensión.

$$I_{\text{tota_max}} = 20.22\text{mA}$$

$$\text{Resistencia Equivalente} = 250 \text{ ohmios}$$

$$\text{Potencia Total Consumida} = 0.102 \text{ Watts}$$

Tabla 4.3.

Valores de los componentes internos del joystick 2.

Resistencias	Valor (KOhm)	Valor divisor (KOhm)	Corrientes (mA)
POT1	9.58	4.93	0.5
POT2	10.31	5.90	0.5
B1	1	-	5
B2	1	-	5
B3	1	-	5
B4	1	-	5

Nota. Ohm=Ohmios, A= Amperios. Medidas tomadas sin tensión.

$$I_{\text{tota_max}} = 20.1\text{mA}$$

$$\text{Resistencia Equivalente} = 238 \text{ ohmios}$$

$$\text{Potencia Total Consumida} = 0.110 \text{ Watts}$$

Del cálculo anterior se debe considerar que la potencia requerida para el funcionamiento de los joysticks es de 0.212 Watts dato a tener en cuenta para elegir el sistema de alimentación de ICORO y este se adapte a la fuente de alimentación ATX visto en el capítulo uno sección 1.15.

Se puso un led verde como indicador de conexión en el PIN 9, este además indica si el joystick está recibiendo la tensión necesaria para su funcionamiento.

4.3. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL.

Los requerimientos para el control de la tarjeta R-PCB-952-0001 REV 2.0 (Figura 2.24) son los siguientes:

Voltaje de alimentación: +33Vdc y -33Vdc

De las pruebas realizadas se determinó que para generar un voltaje máximo de +/- 25 voltios de salida, recomendadas por el fabricante para el funcionamiento de los motores, se necesita una señal de activación de +/-5Vdc para cada puente H que posean las tarjetas.

Por lo tanto una señal analógica para generar una salida de $< -25, +25 > \text{VDC}$ será: $\leq -5, +5 \geq \text{VDC}$.

4.3.1. Configuración y programación del PIC para la conversión A/D

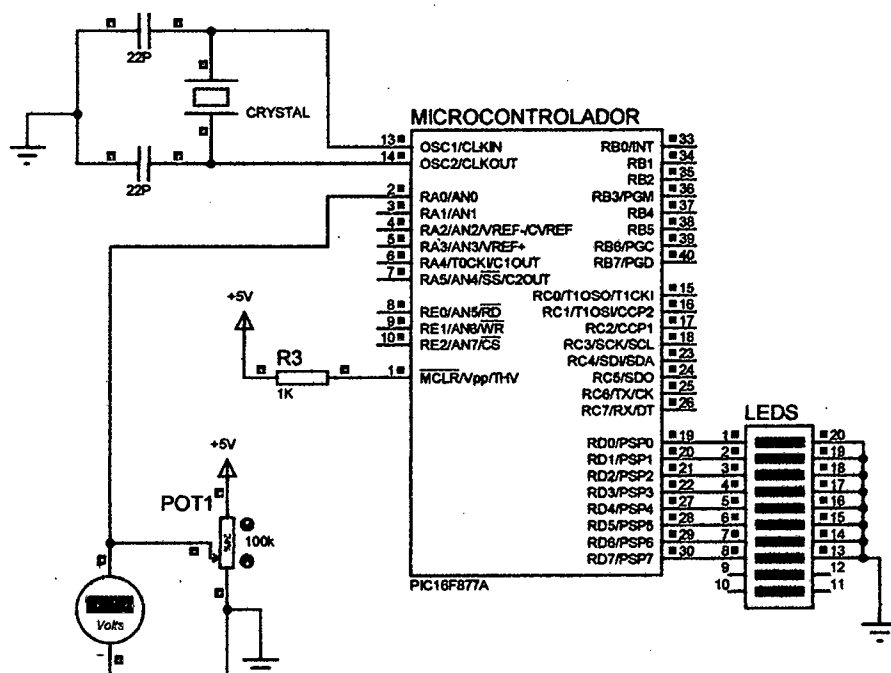


Figura 4.7 configuración del PIC para la conversión A/D.

En la figura 4.7 se observa la configuración necesaria para la conversión de una señal analógica a una digital para ello utilizaremos el PIC16f877A descrita en el capítulo uno (véase sección 1.11.) y su módulo de conversión interno y las salidas del puerto D para obtener 8 bits de salidas ON/OFF. Para ello se procedió a programar el PIC para el reconocimiento de los potenciómetros.

Obtenidos los parámetros como corriente mínima de entrada-salida en alto y bajo dadas por el fabricante (Ver gráficos en el Anexo 10) que se ven más adelante, es factible utilizar los joystick.

La programación con PIC C compiler (Ver sección 1.12) nos da la ventaja de usar dos ficheros .h y .c los cuales nos sirven para realizar cambios rápidamente o enlazar códigos; por ejemplo CONVERSION-ADC.h y CONVERSION-ADC.c están enlazados y son fácilmente modificables.

```

/*****/

//fichero"CONVERSION-ADC.h"

#include <16F877A.h> //Seleccionar el PIC a utilizar
#define adc=8        //Numero de bits a utilizar

#define FUSES NOWDT           //No utilizar perro guardián
#define FUSES XT              //Crystal osc<= 4mhz
#define FUSES PUT             // reloj interno
#define FUSES NOBROWNOUT     //No reset interno
#define FUSES NOLVP           //No programar a bajos voltajes

#define use_delay (clock=4000000)

#define use_FIXED_IO(
D_outputs=PIN_D7,PIN_D6,PIN_D5,PIN_D4,PIN_D3,PIN_D2,PIN_D1,PIN_D0 )
//Definir el Puerto D como salidas

/*****/
```

En el archivo "CONVERSION-ADC.h" se define la serie de PIC, el cual puede ser sustituido por otro, además se define la velocidad de trabajo, las características de grabado y los puertos a utilizarse.

El fichero CONVERSIÓN-ADC.c contiene la lógica en programación de esta manera se configura el PIC para que trabaje como deseamos.

```

/*****
#include<CONVERSION-ADC.h> //llamar al archivo

voidmain() //Función Principal.
{
    SETUP_ADC_PORTS(AN0);           //Define el canal A0 como analógico
    SETUP_ADC (ADC_CLOCK_INTERNAL); // Fuente de reloj RC
    SETUP_SPI(SPI_SS_DISABLED);     // Deshabilitar módulo
    SPISETUP_TIMER_0(RTCC_INTERNAL||RTCC_DIV_1); //habilitar Reloj 0
    SETUP_TIMER_1(T1_DISABLED);     //Deshabilita reloj 1
    SETUP_TIMER_2(T2_DISABLED,0,1); //Deshabilitar reloj 2
    SETUP_COMPARATOR(NC_NC_NC_NC); //Deshabilitar comparador

    UNSIGNED INT TENSION=0;         //Define variable TENSION
    SET_TRIS_D(0x00);              //Habilitar Puerto D
    SET_ADC_CHANNEL(0);             //Habilitación canal 0
    delay_ms(1);
    while(TRUE)
    {
        TENSION = read_adc();      //Lectura asignada a TENSION
        delay_ms(1);
        output_d(TENSION);         //Salida por el Puerto D
        delay_ms(1);
    }
}

```

Al poner la instrucción "SETUP_ADC_PORTS (AN0)" por defecto se toman como voltajes de referencia, VDD y VSS :

$$V_{ref+} = VDD = +5V$$

$$V_{ref-} = VSS = 0V$$

Aplicando la fórmula para hallar la resolución, en nuestra aplicación (véase sección 1.11 pag.18).

$$resolucion = \frac{V_{ref+}}{2^N - 1}$$

Se definió la instrucción "#device adc=8" Teniendo N=8

$$resolucion = \frac{5}{2^8 - 1} = 0.0196V = 19.6 mV$$

Del resultado se observa que el módulo ADC ira de 0V a 5V en intervalos de 19.6 mV. En este caso de 8bits "read_adc()" tomara los valores de 0 a 255; si se desea el valor analógico teniendo la resolución, se obtiene de la siguiente forma:

$$Valor_analógico = resolución \times read_adc()$$

$$Valor_analógico_máximo = 19.6 mV \times 255 = 4.998V$$

Conocida la resolución y el equivalente binario se pueden adaptar estos valores a otros tipos de dispositivos e interfaces de control, para obtener la salida de voltaje deseada de ICORO y así generar la señal de mando para la etapa de potencia del controlador C500. Se escogió el oscilador RC eso da un tiempo de conversión de 2-6 microsegundos, esto se decidió porque el oscilador interno está protegido en un encapsulado contra ruidos y perturbaciones.

Obteniendo una salida digital por el puerto D con las siguientes características:

Niveles lógicos TTL, bajo (0V a 0.8V) y alto (2.4V a 5V) (véase anexo 10).

Corriente máxima IDD para un oscilador de 4 000000 Hz : 1.875 mA

Voltaje de salida en alto mínimo y máximo: +2.8V y + 4.8V

Corriente de salida en alto mínimo y máximo: 5mA y 17.5mA

Voltaje de salida en bajo mínimo y máximo: 0V y + 0.52V

Corriente de salida en bajo mínimo y máximo: 0mA y 25mA

De los resultados anteriores se muestra cual es la corriente máxima que puede arrojar un pin del puerto D del microcontrolador 16F877A, esta corriente es suficiente para que el DAC (véase sección 1.13.) reconozca las 8 entradas digitales sin problemas, caso contrario se presentarían errores de lectura por parte del DAC.

De la simulación con Proteus 8.0, el código responde correctamente y se comprobó con una barra de leds que el puerto D realice correctamente la secuencia pedida; se armó un prototipo real de esta etapa, las perturbaciones con un cristal mayor a 4Mhz se hacen notar, interrumpiendo la secuencia correcta, para ello es necesario la implementación de filtros como se ve en la figura 4.7 con esto se consigue un funcionamiento más estable.

4.4. CONFIGURACIÓN DEL DAC0808.

(Ver datasheet anexo 9) este DAC requiere de 2 microamperios mínimos de entrada, para el reconocimiento de los estados alto y bajo, siguiendo los parámetros de voltajes TTL; Los cuales son cumplidos por los pines de salida digital del PIC16F877A.

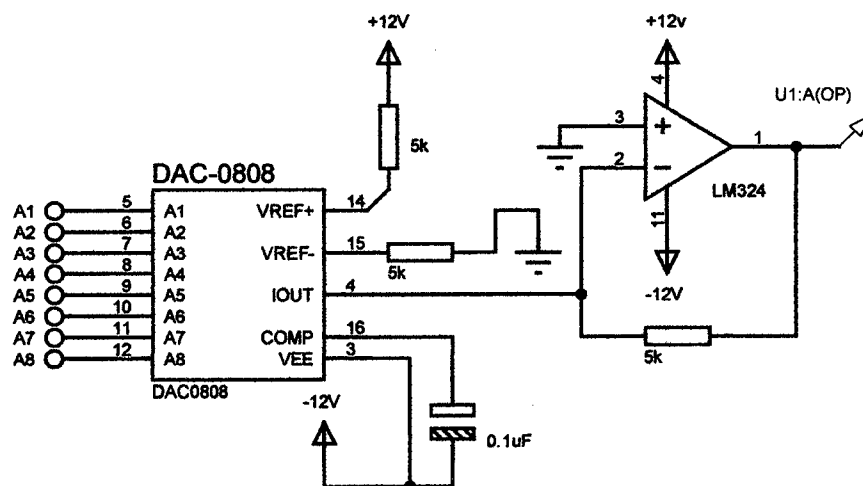


Figura 4.8. Configuración conversión digital-analógico.

Si se sigue la configuración de la figura 4.8 la Corriente de salida I_{out} está dada por:

$$I_{out} = K * \left(\frac{A1}{2} + \frac{A2}{4} + \frac{A3}{8} + \frac{A4}{16} + \frac{A5}{32} + \frac{A6}{64} + \frac{A7}{128} + \frac{A8}{256} \right)$$

Siendo $K = V_{ref}/5k\Omega$, para $V_{ref} = +12V$; $k = 0.0024$

Por lo tanto la corriente máxima será cuando de A1 a A8 estén en alto; valor igual a 1

$$I_{out_max} = 0.0024 * \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right)$$

$$I_{out_max} = 2.39 \text{ mA}$$

De acuerdo a la hoja de fabricante $R_{iout} = 1K\Omega$; para el convertidor corriente-voltaje, $R_l = 5k$:

$$V_{out_max} = R_l * I_{out_max} = 11.95 \text{ V}$$

Obteniendo del DAC una corriente máxima de 2.39mA obtenemos un voltaje de 11.95 VDC el cual tendrá que ser adaptado a través de un amplificador diferencial para obtener los niveles analógicos de -5 a +5 VDC, requeridos por el sistema de las tarjetas de potencia del controlador C500 y poder generar el PWM.

En la simulación con Proteus 8.0 se obtienen valores esperados, pero la implementación del prototipo vario debido a los componentes y sus errores de fábrica para corregir esto y acercase mas al valor teórico se optó por resistencias de precisión de +/-1% de error las cuales se emplearon en la configuración del DAC y se obtuvieron mejores resultados.

Para adaptar la salida del DAC a lo que se requiere, se optó por la configuración de amplificador diferencial (Figura 4.9).

➤ Amplificador Diferencial:

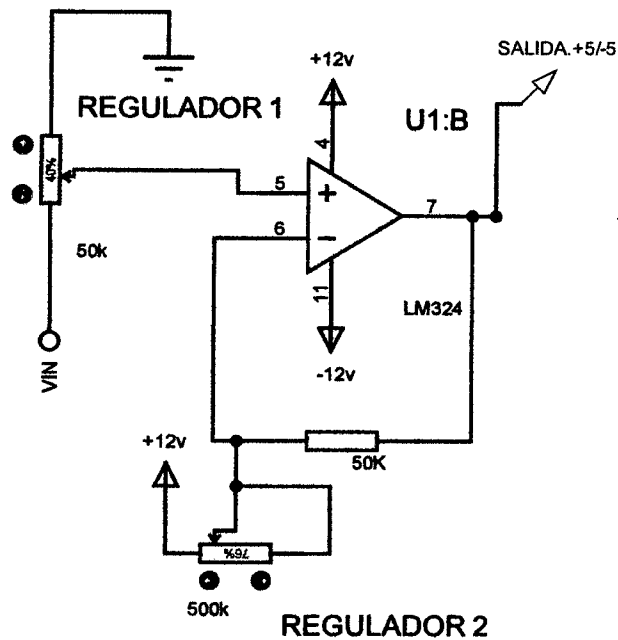


Figura 4.9. Configuración circuito diferencial.

Se optó por potenciómetros reguladores (Figura 4.9) y no por resistencias fijas (Figura 4.10), para que el diseño de esta interfaz se adapte a los niveles de voltaje de cualquier controlador por mando digital.

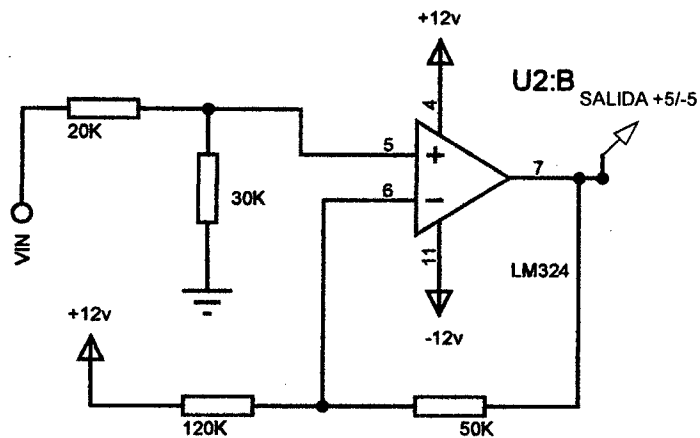


Figura 4.10. Configuración del circuito diferencial para una salida de -5 a +5 VDC.

Siguiendo las reglas del comportamiento de un OPAM (véase sección 1.14.) del análisis se obtiene.

$$\frac{12 - \frac{3}{5} * Vin}{120} = - \left(\frac{Vout - \frac{3}{5} * Vin}{50} \right)$$

$$2.4 * Vout = 2.04 * Vin - 12$$

$$Vout = 0.85 * Vin - 5 \quad (a)$$

Vin	Vout
0	-5
1	-4,15
2	-3,3
3	-2,45
4	-1,6
5	-0,75
6	0,1
7	0,95
8	1,8
9	2,65
10	3,5
11	4,35
12	5,2

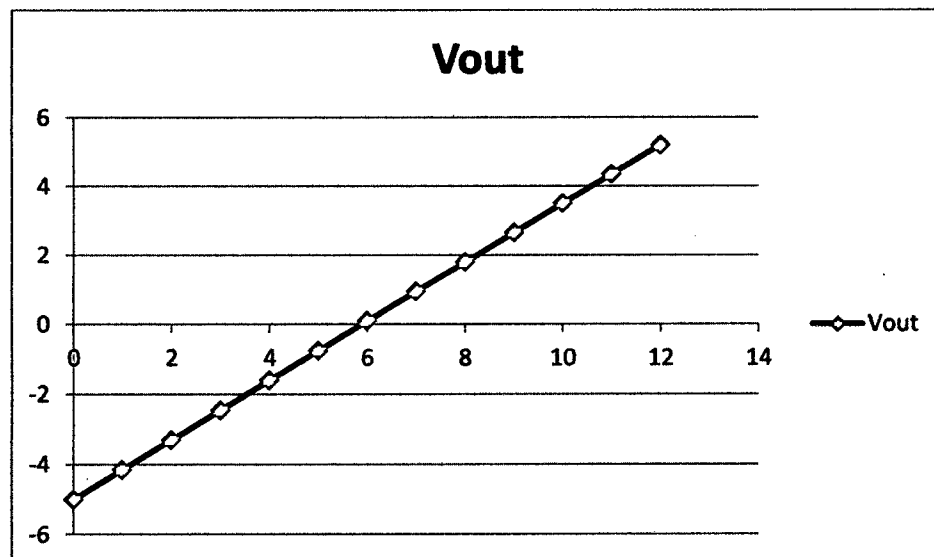


Figura 4.11. Curva de valores de Vout vs Vin

Del análisis se obtiene la función (a) que cumple con lo requerido por la etapa de potencia del controlador C500 y ajustarse a los valores dados por el fabricante. Por lo tanto si se requiere una salida de voltaje de ICORO que cumpla con la función y la gráfica 4.11 se deberán regular los potenciómetros llamados regulador 1 y regulador 2 como se muestra en la figura 4.12, de manera que estos tengan la configuración de divisor de voltaje con los valores mostrados en la figura 4.10.

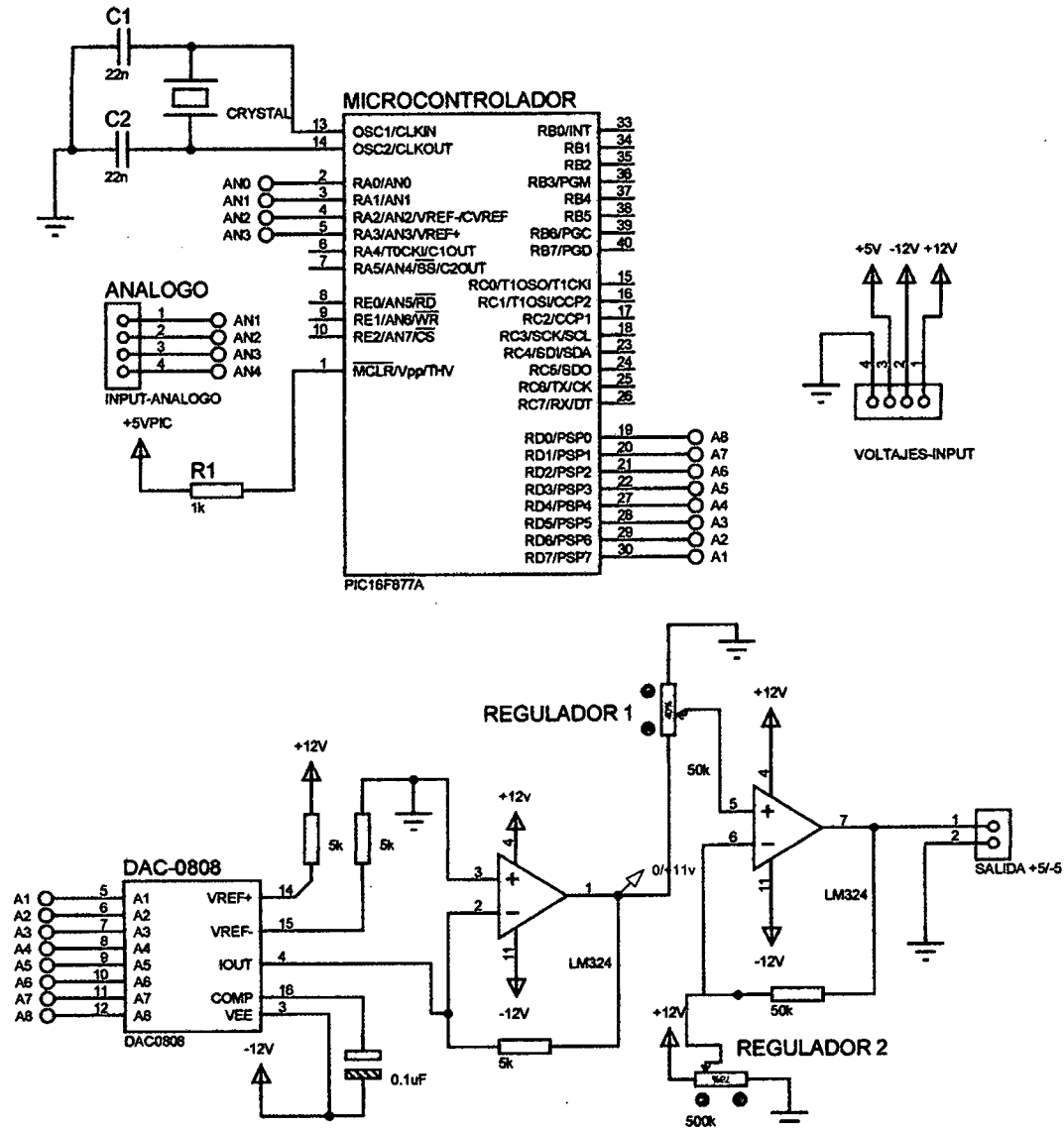


Figura 4.12. Circuito completo de acondicionamiento digital-analógico

Con el circuito completo obtenemos una salida $[-5, +5]VDC$ generados por una señal analógica de $[0,5] VDC$, la última es variable según la posición de los joystick, con los cuales se activara la etapa de potencia, desactivar los frenos y generara el PWM.

Consideración: En la simulación del circuito por Proteus 8.0 este da el resultado esperado de forma ideal y los valores se adaptan a la gráfica de la figura 4.11.

En la prueba del prototipo los resultados varían ligeramente con un $\pm 5\%$ de error esto es normal debido a que los CI y componentes electrónicos presentan una tasa de error por fabricación, debido a esto es aconsejable usar resistencias de precisión con $\pm 1\%$ de error y seguir el diseño con potenciómetros para poder ajustar mejor los valores y obtener el resultado deseado además este diseño brinda la ventaja de adecuarse a cualquier rango analógico que se desee.

4.5. FRENOS.

Para activar y desactivar los frenos acoplados a los motores se optó por el circuito recomendado por el fabricante (Figura 4.13).

Los valores de los parámetros se calcularon cumpliendo los requerimientos para un óptimo funcionamiento.

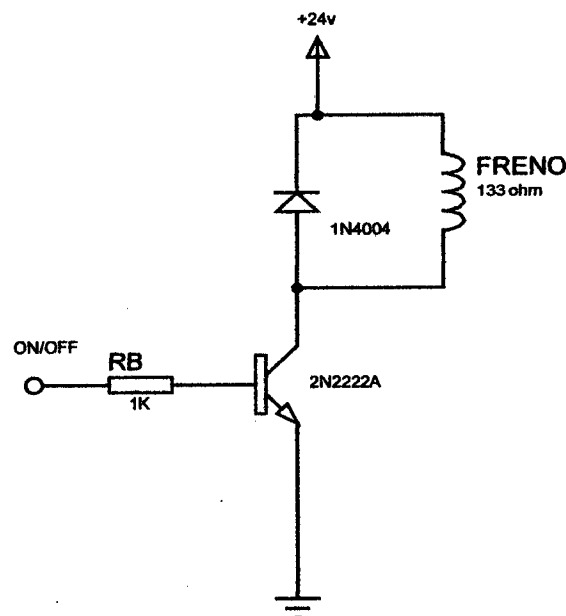


Figura 4.13. Circuito de desactivación de freno recomendado por el fabricante

La resistencia del freno $R = 133\Omega$.

Tensión de activación freno = +24V

Corriente mínima = 200mA

El diseño consta de un transistor, para este proyecto se eligió el 2N2222 tipo NPN switching es decir está preparado para funcionar como un interruptor de altas velocidades.

Características destacadas del transistor:

- Corriente máxima = 800mA
- Voltaje máximo = 40V
- ganancia $h_{fe} = 50$

El diseño puede funcionar sin el diodo de protección 1N4004 de 1.5A pero su uso es necesario para este tipo de aplicaciones, este evita que el voltaje inducido por la bobina entre al transistor ocasionando el daño a este.

$$I_C = h_{fe} \times I_B$$

$$200mA = 50 \times I_B$$

$$4mA = I_B$$

$$I_B = \frac{5 - 0.6}{R_b} = 4mA$$

$$R_b = 1.1k\Omega$$

Este tipo de resistencias no es comercial por lo que elegimos un valor cercano

$$R_b = 1k\Omega$$

Para que el transistor funcione como interruptor debe cumplir con la siguiente condición

$$I_{Csat} = \frac{V_{cc}}{R_c} \text{ para } I_B > \frac{I_{Csat}}{h_{fe}}.$$

$$I_{Csat} = \frac{24}{133} = 180.45mA$$

$$4mA > 3.6mA$$

Con esa condición se obtiene un transistor estable funcionando como interruptor cuando está activado por la base $R_{ce} = 0$ y cuando esta desactivado $R_{ce} = \infty$.

Con estos valores se comprobó antes de aplicarlo en los frenos, en pruebas reales con relés que la activación y desactivación del bobinado son fiables y no se presentaron fallas en las pruebas.

Los cálculos anteriores son necesarios para determinar los valores requeridos de los componentes, para el correcto funcionamiento del sistema de desactivación y activación (Ver figura 4.14), tomar cualquier valor aumentara el riesgo de falla o el mal funcionamiento del sistema ocasionando el deterioro del equipo.

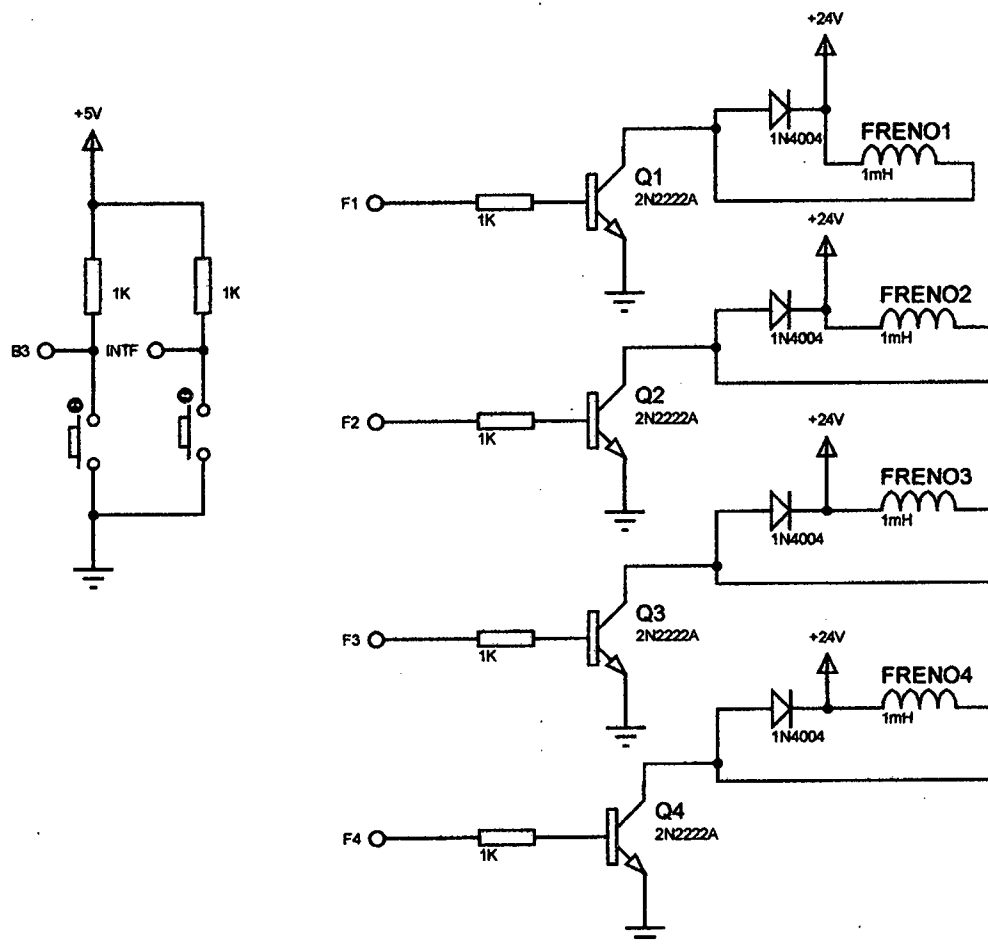
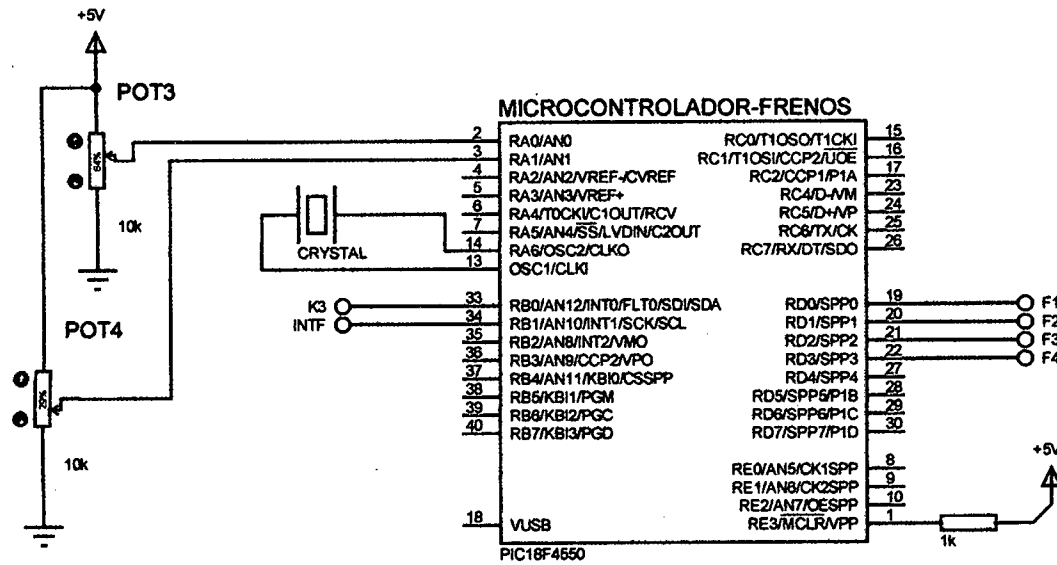


Figura 4.14. Circuito completo desactivación de freno automático.

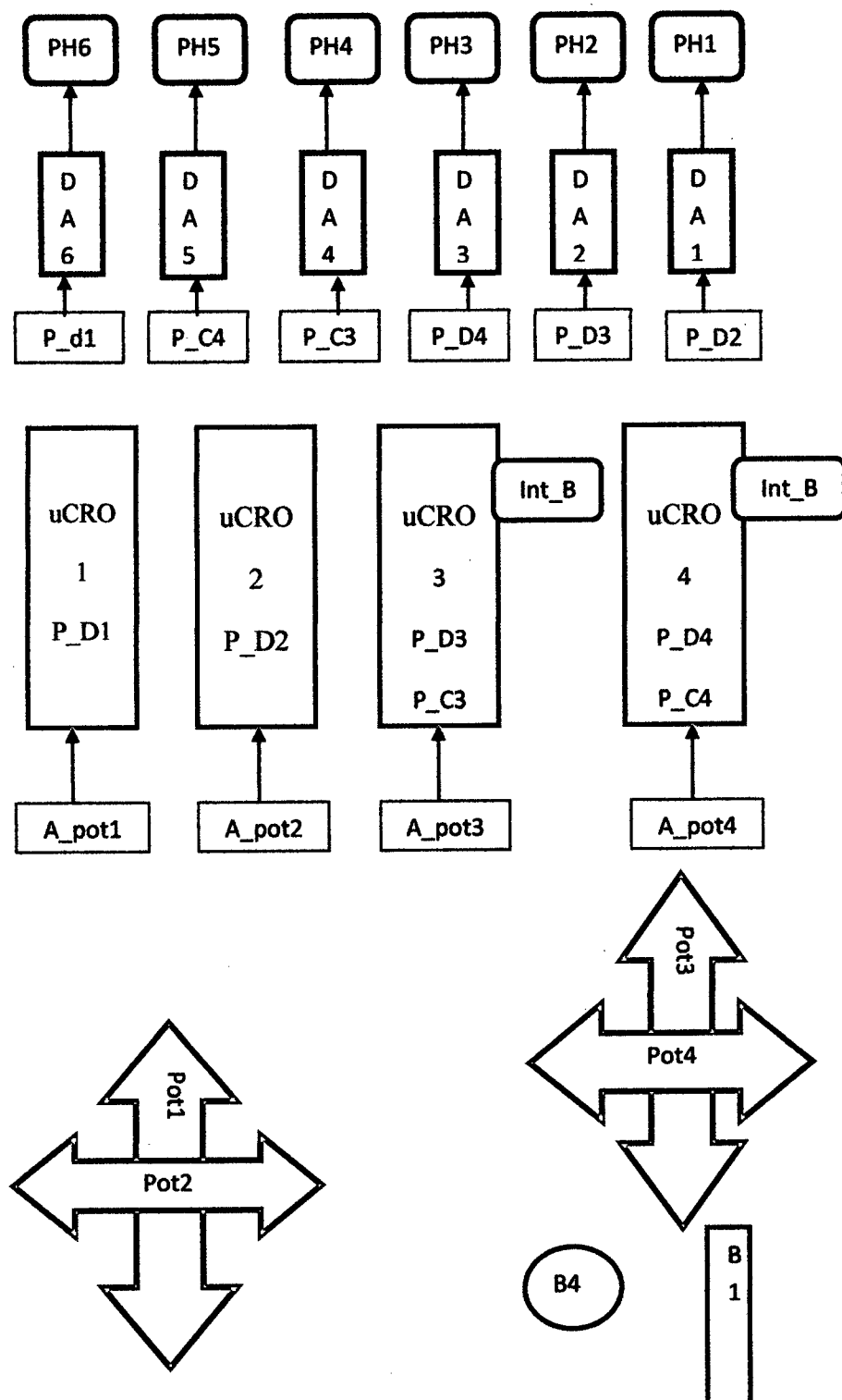


Figura 4.15. Asignación de los ejes del joystick para los puentes H.

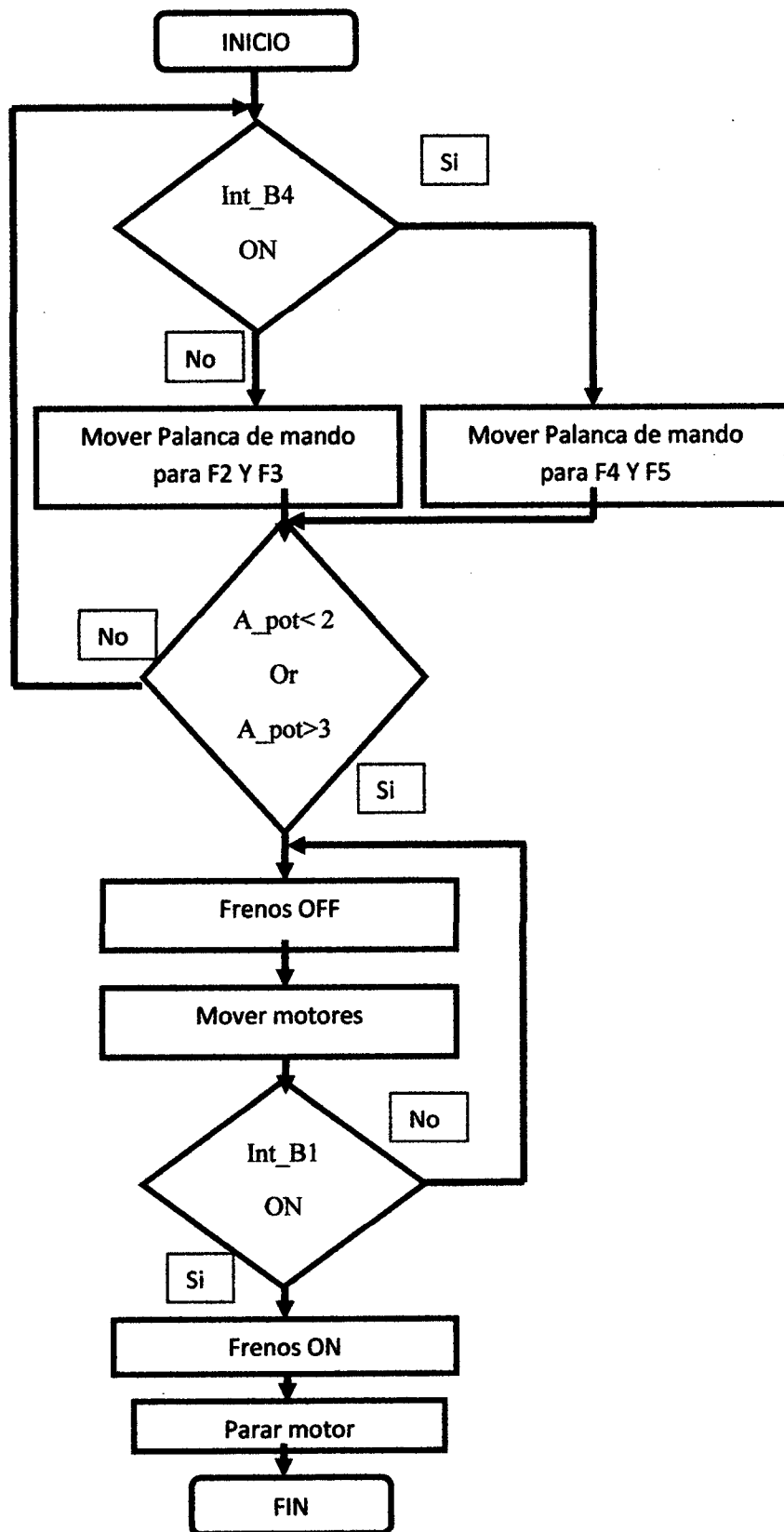


Figura 4.16. Lógica de activación y desactivación de los frenos de motor.

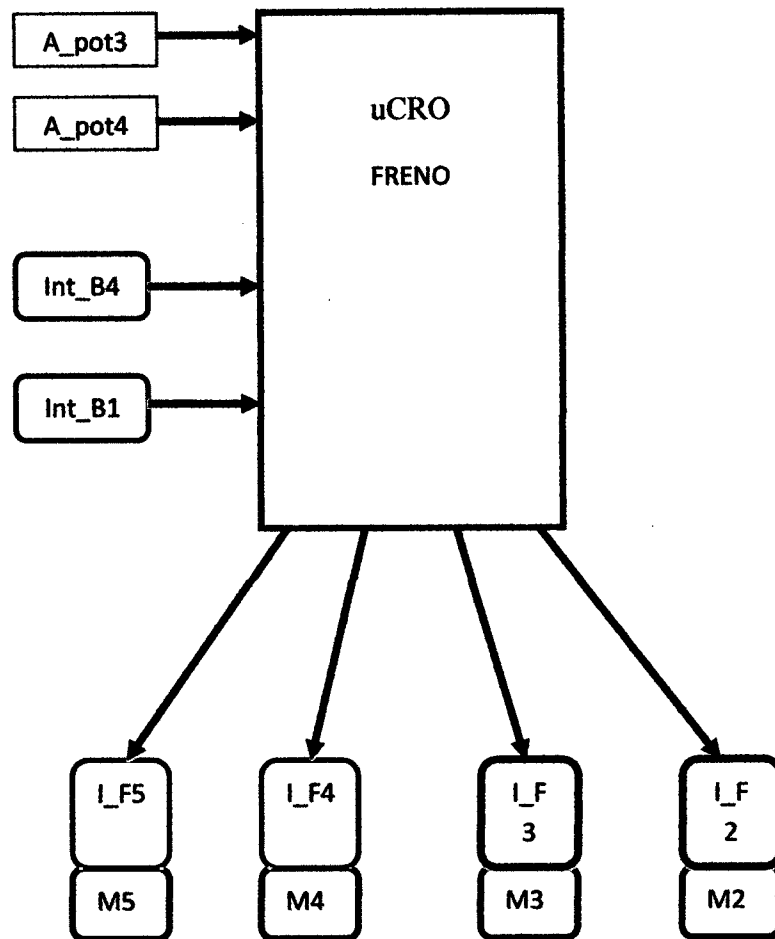


Figura 4.17. Diagrama del microcontrolador activación de frenos.

Cada microcontrolador es programado, dos de ellos poseen un código de programación diferente que se verá más adelante. Los microcontroladores 1 y 2 están asociados a las señales A_pot1 y A_pot2 que poseen el mismo código de programación y estos reciben la señal de orden de pot1 y pot2 pertenecientes al joystick 2 como se muestra en la figura 4.15, estos microcontroladores utilizan el código del fichero "CONVERSIÓN-ADC.C" sin ninguna modificación, debido a que estos dos microcontroladores tienen una salida digital de 8 bits por el puerto D, P_D1 y P_D2 que gobiernan PH6 y PH1 y solo controlan los puentes H que están asociados a los motores sin frenos, como son los de traslación de carro y rotación del brazo robot.

Asignados los dos motores sin frenos, nos quedan cuatro motores, los cuales poseen frenos eléctricos y además de solo el joystick 1 de dos ejes X' e Y', pot4 y pot3 respectivamente, si se utiliza el programa "CONVERSIÓN-ADC.c" solo se podrán manejar dos puentes H dejando otros dos sin control, para ello se utilizó la función

INT_EXT (véase sección 1.11.) del microcontrolador 16F877A pin B0, a través de esto se le ordena al PIC ejecutar otras instrucciones cuando detecta un interruptor a través de int_B como se muestra en la figura 4.15; de este modo se pueden manejar otros dos puentes H, es decir un PIC podrá manejar dos puentes H y no solo uno.

Configuración del PIC para los microcontroladores 3 y 4.

```
/***** ADC-INT-3-4.h *****/
```

```
#include <16F877A.h>
```

```
#device adc =8
```

```
#FUSES NOWDT           //No perro guardián
```

```
#FUSES XT              //Oscilador 4MHZ
```

```
#FUSES PUT             //Reloj interno
```

```
#FUSES NOBROWNOUT     //Sin interrupción interna.
```

```
#FUSES NOLVP           //Deshabilitar programación a bajo voltaje
```

```
#use delay(clock=4000000)
```

```
#use FIXED_IO(
```

```
C_outputs=PIN_C7,PIN_C6,PIN_C5,PIN_C4,PIN_C3,PIN_C2,PIN_C1,PIN_C0 )
```

```
#use FIXED_IO(
```

```
D_outputs=PIN_D7,PIN_D6,PIN_D5,PIN_D4,PIN_D3,PIN_D2,PIN_D1,PIN_D0 )
```

```
// Definir los puertos C y D salida
```

```
/*****
```

```
#include <ADC-INT-3-4.h>
```

```
#byte port_b = 0x06      //Habilitar registro de puerto b
```

```
#byte tris_b = 0x086
```

```
#byte port_c = 0x07      //Habilitar registro de puerto c
```

```
#byte tris_c = 0x087
```

```
#byte port_d = 0x08      // Habilitar registro de puerto d
```

```
#byte tris_d = 0x088
```

```

#INT_EXT          //Código a ejecutarse cuando exista una interrupción externa
voidext_isr() {
if (bit_test(port_b, 0)==0) //Si el pin B0 está en 0 lógico se ejecutara lo siguiente
{
port_d=(0b01111111);    //salida por el puerto D a 127 ( 2.5V)
//*****parámetros del ADC*****
INT valor_convertido2;    //Asignar una variable
set_tris_c(0x00);        // Puerto c como salidas
port_c=0;
SETUP_ADC_PORTS(AN0);    //Puerto de entrada analógica
SETUP_ADC(ADC_CLOCK_internal);
SETUP_SPI(SPI_SS_DISABLED);
SETUP_TIMER_0(RTCC_INTERNAL||RTCC_DIV_1);
SETUP_TIMER_1(T1_DISABLED);
SETUP_TIMER_2(T2_DISABLED,0,1);
SETUP_COMPARATOR(NC_NC_NC_NC);
Do                        //Cumplido los parámetros ejecutar
{
SET_ADC_CHANNEL(0); //Canal de conversion0
delay_us(500);
valor_convertido2=read_adc();    //Se le asigna el valor leído
delay_us(500);
output_c(valor_convertido2);    //Presentamos el valor obtenido.
}
while(bit_test(port_b, 0)==0); // Se ejecutara lo anterior mientras B0 está en 0 lógico
port_c=(0b01111111); //Poner la salida por el puerto c a 127 ( 2.5V)
}
}

/*****Función principal*****/
/* Las líneas de instrucción anteriores a ejecutarse, "#INT_EXT" solo lo hará cuando
exista una interrupción externa, es decir el botón B4 sea activado poniendo en cero lógico
el PIN_B0 del microcontrolador, mientras eso no suceda el PIC ejecutara la rutina alojada
en "voidmain()" que es la función principal. */

```

```

voidmain()
{
    tris_b=(0b00000001); // puerto B0 como entrada
    port_b=0;
    port_c=(0b01111111); // Poner la salida del puerto c a 127 ( 2.5V)
    ENABLE_INTERRUPTS (global); //Habilitar las interrupciones
    EXT_INT_EDGE (H_to_L); //Interrupción por flanco descendente
    ENABLE_INTERRUPTS (INT_EXT); //Habilitando interrupción externa
    while (true)
    {
        INT valor_convertido; //Asignar una variable
        set_tris_d(0x00); // Puerto d como salidas
        port_d=0;
        SETUP_ADC_PORTS (AN0); //Puerto de entrada analógica A0
        setup_adc(ADC_CLOCK_internal); //Reloj interno RC para el ADC
        setup_spi(SPI_SS_DISABLED); //Deshabilitar módulo SPI
        SETUP_TIMER_0(RTCC_INTERNAL||RTCC_DIV_1); //Habilitar timer_0
        SETUP_TIMER_1(T1_DISABLED); //Deshabilitar timer_1
        SETUP_TIMER_2(T2_DISABLED,0,1); //Deshabilitar timer_2
        SETUP_COMPARATOR(NC_NC_NC_NC); //Deshabilitar comparador
        WHILE(true)
        Do //si se cumple lo anterior ejecutar lo siguiente
        {
            SET_ADC_CHANNEL(0); //canal de conversión 0
            delay_us(500);
            valor_convertido=read_adc(); //se le asigna el valor leído
            delay_us(500);
            output_d(valor_convertido); //presentamos el valor obtenido.
            delay_us(500);
        }
        while (TRUE);
    }
}

```

El código de “ADC-INT-3-4.c” nos sirve para controlar dos puentes H con una señal analógica que varíe de acuerdo a la posición de la palanca de mando y al botón B4. Para los frenos se utilizaron los mismos principios, se eligió el microcontrolador PIC18f4550 que posee dos interrupciones necesarias para seguir la lógica planteada en la figura 4.16. Fue implementado en el microcontrolador como en la figura 4.17 siendo B1 activador y desactivador de los frenos, obteniéndose el resultado esperado, se activan y desactivan los frenos automáticamente una vez se detecte el rango necesario de voltaje y desactivara con la interrupción int_B1 si se desea o soltando la palanca, la primera opción es la más recomendable por su precisión.

Programa para la desactivación y activación de los Frenos eléctricos.

```

/*****ACTIVACION_FRENOS.h*****/

#include<18F4550.h>
#defineadc=8

#FUSES NOWDT           //No perro guardián
#FUSES WDT128          //Perro guardián 1:128 Postscale
#FUSES PLL1            //No PLL PreScaler
#FUSES CPUDIV4         //System Clockby 4
#FUSES HS              //High speed Osc (>4mhz for PCM/PCH)
#FUSES PUT             //Encender reloj interno
#FUSES NOBROWNOUT      //Sin apagado automático
#FUSES NOLVP           //No bajo voltaje de programación
#FUSES NOXINST         //Desactivar modo de direccionamiento indexado

#use delay (crystal=20000000, clock=5000000)
#use FIXED_IO(D_outputs=PIN_D3,PIN_D2,PIN_D1,PIN_D0 ) //Salidas digitales

/*****ACTIVACION_FRENOS.c*****/

#include<ACTIVACION_FRENOS.h>
#byte port_b = 0x06 //habilitar registro de puerto b
#byte tris_b = 0x086
#byte port_d = 0x08 // Habilitar registro de puerto d

```

```

#byte tris_d = 0x088

#INT_EXT // int_B4 activación de la interrupción externa a través del PIN_B0.
void EXT_isr(void) //Función a ejecutarse cuando exista una interrupción externa.
{
    IF (bit_test(port_b, 0)==0) //SI B0 en cero lógico, desactivar D0 y D1
    {
        OUTPUT_LOW(PIN_D0);
        OUTPUT_LOW(PIN_D1);

        /*******Parámetros del ADC*****
        INT valor_convertido1, valor_convertido2;
        FLOAT VAL1, VAL2; //Asigna una variable;
        set_tris_c(0x00); // Puerto c como salidas
        SETUP_ADC_PORTS(AN0_TO_AN2); //Puerto de entrada analógica A0 y A2
        SETUP_ADC(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Reloj RC
        SETUP_SPI(SPI_SS_DISABLED); //Deshabilitar SPI
        SETUP_TIMER_0(RTCC_INTERNAL||RTCC_DIV_1); //Habilitar timer 0
        SETUP_TIMER_1(T1_DISABLED); //Deshabilitar timer 1
        SETUP_TIMER_2(T2_DISABLED, 0, 1); //Deshabilitar timer 2
        SETUP_COMPARATOR(NC_NC_NC_NC); //Deshabilitar comparador
        Do
        {
            SET_ADC_CHANNEL(0); //Canal de conversión AN0
            delay_us(500);
            VALOR_CONVERTIDO1= read_adc(); //Se le asigna el valor leído
            delay_us(500);
            VAL1=5.0*VALOR_CONVERTIDO1/255.0; //Equivalencia digital-análogo
            IF (VAL1<=1.8 || VAL1>=3.3) OUTPUT_HIGH(PIN_D2);
            ELSE OUTPUT_LOW(PIN_D2); //Se activara el freno si cumple la condición
            SET_ADC_CHANNEL(1); //Canal de conversion AN1
            delay_us(500);
            VALOR_CONVERTIDO2=read_adc(); //se le asigna el valor leído

```

```

delay_us(500);
VAL2=5.0*VALOR_CONVERTIDO2/255.0;
IF (VAL2<=1.8 || VAL2>=3.3) OUTPUT_HIGH(PIN_D3) ; //inter. activación frenos
ELSE OUTPUT_LOW(PIN_D3);
}
while(bit_test(port_b, 0)==0);
OUTPUT_LOW(PIN_D0);
OUTPUT_LOW(PIN_D1);
}
}
#int_EXT1 // int_B1 activación de la interrupción externa a través del PIN_B1.
void EXT1_isr(void) //Función a ejecutarse si se desea activar los frenos sobre la
marcha.
{ //Poner en cero los pines de desactivación y así activar el freno.
OUTPUT_LOW(PIN_D0);
OUTPUT_LOW(PIN_D1);
OUTPUT_LOW(PIN_D2);
OUTPUT_LOW(PIN_D3);
}

void main() //Función Principal a ejecutarse sin interrupción alguna.
{
enable_interrupts(global);
ext_int_edge (0,H_to_L);
ext_int_edge (1,H_to_L);
enable_interrupts(INT_EXT); //Habilitando interrupción externa
enable_interrupts(INT_EXT1);
while (true)
{
INT VALOR_CONVERTIDO1, VALOR_CONVERTIDO2; //Asigna una variable
// set_tris_d(0x00); // Puerto d como salidas
float VAL1,VAL2;
port_d=0;
setup_adc_ports(AN0_TO_AN2); //Puerto de entrada analógica

```

```

setup_adc(ADC_CLOCK_internal);
setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL||RTCC_DIV_1);
    SETUP_TIMER_1(T1_DISABLED);
    SETUP_TIMER_2(T2_DISABLED,0,1);
    SETUP_COMPARATOR(NC_NC_NC_NC);
    WHILE(true)
    do
    {
        SET_ADC_CHANNEL(0); //Canal de conversión cero
        delay_us(500);
        VALOR_CONVERTIDO1=read_adc(); //Se le asigna el valor leído
        delay_us(500);
        VAL1=5.0*VALOR_CONVERTIDO1/255.0;
        IF (VAL1<=1.8 || VAL1>=3.3) OUTPUT_HIGH(PIN_D0) ;
            ELSE OUTPUT_LOW(PIN_D0);
        SET_ADC_CHANNEL(1); //Canal de conversión AN1
        delay_us(500);
        VALOR_CONVERTIDO2=read_adc(); //Se le asigna el valor leído
        delay_us(500);
        VAL2=5.0*VALOR_CONVERTIDO2/255.0;
        IF (VAL2<=1.8 || VAL2>=3.3) OUTPUT_HIGH(PIN_D1) ;
            ELSE OUTPUT_LOW(PIN_D1);
    }
        while (TRUE);
    }
}
//*****Fin delCodigo*****//

```

El accionamiento de los frenos se dan cuando los motores reciben un voltaje de alimentación de +/- 9V en promedio, se probó que este voltaje no es capaz de mover la articulación pero evita la caída del mismo cuando se desenergiza la bobina del freno, el voltaje inducido por el motor recae sobre el puente H el cual posee diodos de

protección, es necesario que el brazo y el controlador posean un punto de baja impedancia para que el voltaje inducido no deteriore el puente H.

Se obtuvo el resultado esperado, permitiendo controlar los motores, frenos y así el brazo robot A255, respetando y sin mayor modificación de los conectores internos del brazo y controlador los cuales ya están diseñados de fábrica.

Tabla 4.4.

Relación de los potenciómetros y los ejes del brazo robot.

Puente H	Eslabón	Control joystick	Frenos
1	J1	Pot2	NO
2	J2	Pot3	SI
3	J3	Pot4	SI
4	J4	Pot3+int_B4	SI
5	J5	Pot4+int_B4	SI
6	T (Traslación)	Pot1	NO

Nota. Las relaciones mostradas, son recomendables porque son adaptadas al sistema ya existente del brazo robot A255 y el controlador, la tabla guarda relación con la figura 4.15.

Cabe destacar que los frenos son independientes y cada uno de ellos controla una articulación, (Ver tabla 4.4) son de suma importancia, por eso es recomendable que no se intenten mayores alteraciones a su funcionamiento; para mayores pruebas a realizarse con este u otras adaptaciones del controlador es necesario los sistemas de acondicionamiento y protección de tensión tanto del brazo robot A255 como del controlador C500.

En la figura 4.18 se muestra el circuito electrónico del prototipo de ICORO la sección de activación y desactivación de frenos (Figura 4.14) se realizó de manera aislada, esta debe incluirse como parte del sistema ICORO.

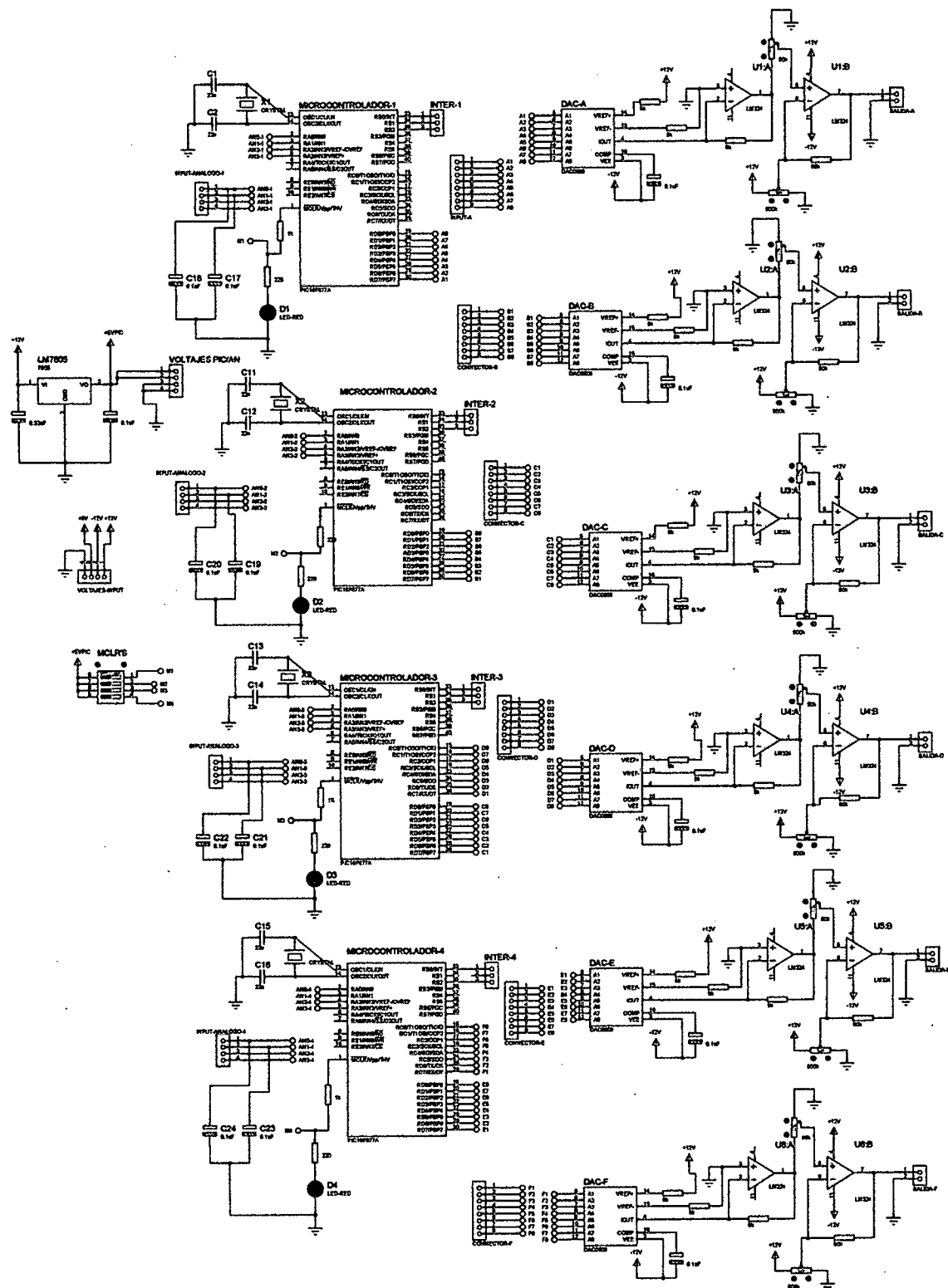


Figura 4.18. Diagrama electrónico de ICORO.

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron, del trabajo realizado en este proyecto de tesis, son las siguientes.

1. Este estudio permitió conocer el funcionamiento de las diferentes etapas como son, transformación, potencia-aislamiento y control del sistema robótico A255.
2. Del análisis del controlador C500 y el robot A255, se aplicó ingeniería inversa para realizar un diagnóstico de las etapas de control eléctrico y electrónico.
3. Localizados los daños eléctricos de la etapa de transformación, se corrigieron y reemplazaron los fusibles de protección, pistas dañadas, relés de estado sólido y se corrigió la configuración de los conectores, reparando esta etapa.
4. En la etapa de potencia y aislamientos se repararon los generadores PWM, Puentes H, reguladores de voltaje y sistemas de protección; se reemplazaron los CI y componentes electrónicos como diodos y transistores dañados, para lograr el funcionamiento de tales etapas.
5. La etapa de control esta inoperativa. Se muestra un código de falla permanente el cual indica error en el sistema operativo, dicho programa es propiedad registrada de Thermo CRS, al cual no se puede acceder por estar protegido; la recomendación del fabricante sobre este tipo de fallas es solicitar su soporte técnico.
6. Con el conocimiento obtenido se diseñó el sistema de control llamado ICORO (Interfaz de Control Robótico) para poner en funcionamiento el brazo robot A255, teleoperado mediante joystick.
7. El controlador C500 no se puso en funcionamiento al 100%, reparándose la etapa de transformación, etapa de aislamiento-potencia y adaptándose una etapa de control teleoperado con joysticks.
8. Se puso en funcionamiento el brazo robot A255 y el carro de traslación a través de ICORO teleoperado utilizando microcontroladores PIC y dos joysticks; para la quinta articulación se utilizó la interrupción externa de los PIC.
9. Los microcontroladores fueron utilizados en este proyecto, los cuales funcionan bien en el sistema teleoperado, con ICORO.
10. No se probó la pinza (gripper) debido a que no posee motor.

RECOMENDACIONES

Se presentan una serie de recomendaciones, para futuros proyectos o investigaciones a realizarse en el brazo robot CRS A255.

1. Para realizar pruebas mayores con ICORO u otros sistemas y reducir el riesgo de daños en los equipos como el controlador, brazo robot y demás equipos del laboratorio; es necesario la implementación de sistemas de protección y estabilización de tensión, como la puesta de un punto de baja impedancia (Pozo a Tierra) que hasta la culminación del proyecto no se implementó.
2. Para la lectura de los encoder se recomienda módulos especiales, porque los microcontroladores de gama media no poseen QEI (Interfaz de Cuadratura para Encoder) dando errores de lectura y presentando fallas en la prueba distancia-velocidad.
3. Para la implementación de ICORO con joysticks, se recomienda que estos últimos sean del tipo industrial por su precisión, larga vida de trabajo y sistemas de protección.
4. El sistema ICORO puede ser adaptado con otro tipo de interfaz tales como DSP, FPGA y otros sistemas que cumplan los requisitos expuestos en este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

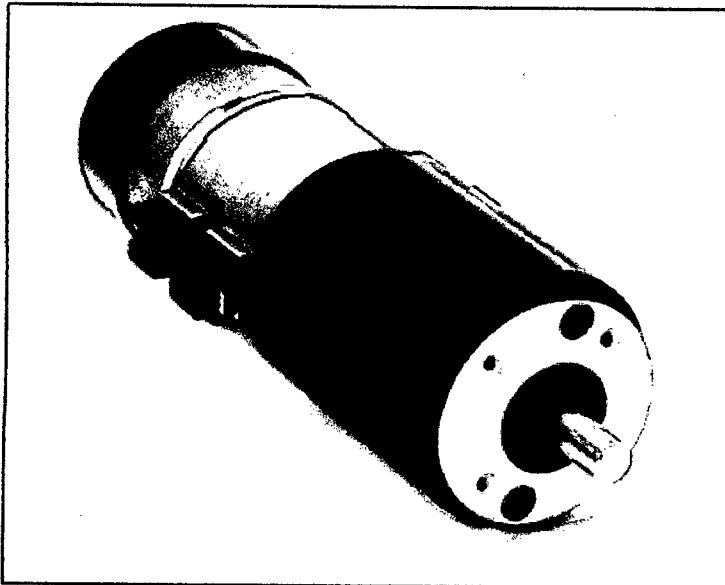
- Aaron Carlton. (2004). *Independent Review of the CCS C compiler*. Recuperado de http://www.microchip.com/reviews/CCS_C/
- Barrientos, A., Peñín, L.F., Balaguer, C., y Aracil. 2007. *Fundamentos de Robótica*. Sánchez González, Carmelo (ed.). 2a. ed. Madrid: McGraw-Hill, 624 p. ISBN: 978-84-481-5636-7
- Boylestad. Nashelsky. 2006. *Electrónica; Teoría de Circuitos y dispositivos electrónicos*. 8ª.ed. México D.F.: Prentice Hall.
- Bolton, W.2001. *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica*. Bautista Gutiérrez, Raúl (trad.). 2a. ed. México D.F.:Alfaomega. 542 p. ISBN: 970-15-0635-9
- Craig, J. J. 1989. *Robot Programming Languages and System: Introduction to Robotics Mechanics and Control*. 2ª. Ed. Massachusets: Addison-Wesley Publishing Company.
- CCS C. (2012). *Ccs c compiler manual PCD* (manual usuario). recuperado de <http://www.ccsinfo.com/downloads/PCDReferenceManual.pdf>
- CRS Robotics. Manual de usuario robot articulado CRS A255, pág 21-25
- CRS Robotics. Manual de usuario robot articulado CRS A255, sección mecánica, pág 47-53
- David Meiklejohn, (2012). *Introduction to PIC Programming, Programming Baseline PICs in C* Recuperado de http://www.gooligum.com.au/tutorials/baseline/PIC_Base_C_7.pdf
- Dorf. Svoboda. 2006. *Circuitos Eléctricos*. 6ª. Ed. España: Ed.Alfaomega

- Eduardo Garcio,B. N, 2003. *Compilador C CCS y simulador Proteus para Microcontroladores PIC*. 2a. ed. México D.F.:Alfaomega- Marcombo
- Erdman. G. y Sandor. N, 1997. *Diseño de mecanismos, análisis y síntesis*. 5a. ed. México D.F.: Prince Hall.
- GarciaBrejo.(2008). *Diseño del sistema decontrol del brazo robotico CRS A255 utilizando la plataforma KINETIX de allenbradley*(Tesis de ingeniería). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3206>
- Kuo. Benjamin C.1996. *Sistemas de control automática*. México D.F.: Prentice Hall.
- López. A. y Julián. M. 2003. *Circuitos electrónicos I*. 3era. ed. Lima: Editorial “CIENCIAS”.
- Ogata. K . 2003. *Ingeniería de control moderna*. 4a. ed. Madrid: Pearson. 984 p. ISBN: 84-205-3678-4
- Peter H. Anderson,(2000). *PIC16F87X Tutorial by Example*. Recuperado de http://www.phanderson.com/icd/PIC16F87X_tutorial_sample.pdf
- TiconaWilmer.j.(2010). *Diseño de un sistema de control para trayectorias multiples del brazo CRS robotics del laboratorio de mecatronica de la universidad nacional de piura*(Tesis de ingeniería). Recuperado de http://www.cip.org.pe/imagenes/temp/libro/9_129305_20120619_145142.pdf
- Torres, F., Pomares, J., Gil, P., Puente, S.T., y Aracil, R. 2002. *Automática & Robótica: Robots y sistemas sensoriales*. Capella, Isabel (ed.). 2a. ed. Madrid: Ed. Prentice Hall. 480 p. ISBN: 84-205-3574-5.

ANEXO 1

Características de los motores del brazo robot A255.

TORQUEMASTER®



Performance Benefits

CMC Torque Systems specializes in the design of high performance brush servo motors that provide efficiency, flexibility of application, and a long and trouble-free service life. Our TORQUEMASTER® 2100 series is no exception.

With fast response, accurate control and high torque-to-inertia ratios, you can count on the TORQUEMASTER 2100 Series of brush servo motors to provide smooth operation throughout a full speed range. The 2100 Series delivers smooth and superior low speed performance, and maximum power ratings with low thermal resistance for high speed performance. In addition, with maximum torque in a smaller package, you can count on better pricing for a better overall value.

When integrated with high performance brush amplifiers, TORQUEMASTER 2100 Series brush servo motors provide effective and highly efficient motion control solutions for a wide range of applications—including factory automation, packaging, robotics, machine tools, medical instrumentation and more.

Design Features

TORQUEMASTER 2100 Series brush servo motors are rated from 12 oz.-in. to 53 oz.-in. with speeds and torque stability up to 6500 RPM. They utilize the latest in high performance permanent magnet technology, and are available in eight standard windings (as well as custom windings) to meet your most demanding applications.

Each brush servo motor in the TORQUEMASTER 2100 Series is ruggedly designed and manufactured for reliable performance.

Motors can be customized to fit your exact application with tachometers, encoders, brakes and other options.


BRUSH SERVO MOTORS 2100 SERIES

Series 2100, is a high performance, permanent magnet brush servo motor for use in various industrial direct drive or geared servo systems

- Rugged industrial construction
- Continuous torque ratings up to 53 oz.-in. —with speeds up to 6500 RPM (no load)
- Peak torque ratings up to 300 oz.-in.
- High torque-to-inertia ratio delivers maximum torque per frame size
- Superior low speed performance
- Numerous custom options available
- CE / UL



 **STANDARD 30**

 **Automated Productivity
Worldwide**

 **Cleveland
Motion Controls**
A BROWN COMPANY

2100 SERIES

TORQUEMASTER®

BRUSH SERVO MOTOR CHARACTERISTICS

SYMBOL		UNITS	2105	2110	2115	2120	2130
T_c	Cont. Torque	Oz-in	12	18	30	38	53
T_p	Peak Torque	Oz-in	50	100	150	200	300
T_s	Static Friction	Oz-in	3	3	3	3	3
F_1	Viscous Friction	Oz-in/KRPM	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5
F_2	Cogging Torque	Oz-in	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5
J_M	Inertia	Oz-in-sec ²	0.0018	0.0031	0.0044	0.0057	0.0083
R_{th}	Thermal Res	Deg C/watt	6.9	6.2	5	4.5	3.8
T_{th}	Thermal Time	Minute	10	10	15	15	20
t_m	Mech Time	Millisec	24.3	12.19	8.62	8.07	7.20
t_e	Elect Time	Millisec	1.6	1.9	2.1	2.1	2.2
F_C	Commutation	Factor	488	722	1260	1548	2116
W_t	Weight	Lbs	1.9	2.9	3.1	3.3	4.3

Note: All values at 25°C Ambient.

WINDING

A	K_t	Torg. Sens.	Oz-in/Amp	2.27	3.8	6.12	7.74	11.2
	R_A	Arm. Resis.	Ohms	0.29	0.40	0.52	0.60	0.80
	K_v	Back E.M.F.	Volts/KRPM	1.7	2.8	4.5	5.7	8.3
	P_C/K_t	P_b	Watts	215	190	206	200	189
B	K_t	Torg. Sens.	Oz-in/Amp	2.77	4.7	7.48	9.46	13.6
	R_A	Arm. Resis.	Ohms	0.44	0.61	0.77	0.89	1.18
	K_v	Back E.M.F.	Volts/KRPM	2	3.5	5.5	7.0	10.1
	P_C/K_t	P_b	Watts	176	154	168	164	156
C	K_t	Torg. Sens.	Oz-in/Amp	3.53	5.9	9.52	12	17.3
	R_A	Arm. Resis.	Ohms	0.70	0.97	1.25	1.44	1.92
	K_v	Back E.M.F.	Volts/KRPM	2.6	4.4	7.0	8.9	12.8
	P_C/K_t	P_b	Watts	138	122	132	129	122
D	K_t	Torg. Sens.	Oz-in/Amp	4.41	7.4	11.9	15	21.7
	R_A	Arm. Resis.	Ohms	1.13	1.52	1.96	2.25	3.01
	K_v	Back E.M.F.	Volts/KRPM	3.3	5.5	8.8	11.1	16.0
	P_C/K_t	P_b	Watts	111	98	106	103	98
E	K_t	Torg. Sens.	Oz-in/Amp	5.54	9.3	15	19	27
	R_A	Arm. Resis.	Ohms	1.77	2.40	3.11	3.61	4.67
	K_v	Back E.M.F.	Volts/KRPM	4.1	6.9	11.1	14.0	20.0
	P_C/K_t	P_b	Watts	88	78	84	81	78
F	K_t	Torg. Sens.	Oz-in/Amp	6.93	11.7	18.7	23.6	34
	R_A	Arm. Resis.	Ohms	2.78	3.80	4.84	5.57	7.40
	K_v	Back E.M.F.	Volts/RPM	5.1	8.6	13.8	17.4	25.1
	P_C/K_t	P_b	Watts	70	62	67	66	62
G	K_t	Torg. Sens.	Oz-in/Amp	8.57	14.4	23	29	42
	R_A	Arm. Resis.	Ohms	4.31	5.76	7.32	8.41	11.29
	K_v	Back E.M.F.	Volts/KRPM	6.3	10.6	17.0	21.4	31.0
	P_C/K_t	P_b	Watts	57	50	55	53	50
H	K_t	Torg. Sens.	Oz-in/Amp	10.71	18	29	36	52
	R_A	Arm. Resis.	Ohms	6.84	9.00	11.64	12.96	17.31
	K_v	Back E.M.F.	Volts/KRPM	7.9	13.3	21.4	26.6	38.4
	P_C/K_t	P_b	Watts	46	40	43	43	41

Note: Continuous torque specifications obtained with motor mounted to an 10" x 10" x 0.25" alum. plate at 25°C ambient. Typical values are within ±10% of rating.

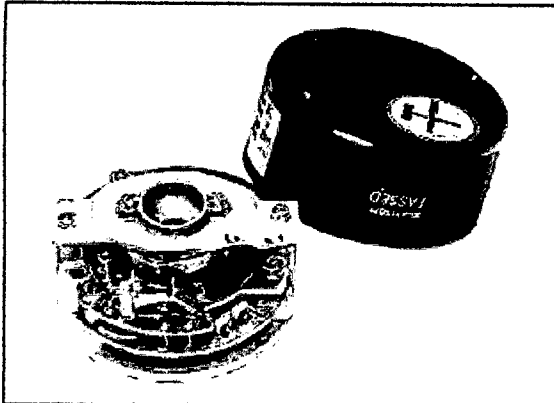
For custom designs please consult factory.

All specifications subject to change without notice.

ANEXO 2

Características de los encoders incrementales series LDA.

SIZE 20 SERIES LDA INCREMENTAL MODULAR ENCODER



SPECIFICATIONS

Electrical

Pulse per Revolution	Up to 2500
Supply Voltage	5Vdc, 12Vdc, 15Vdc
Output Format	Dual Square Wave in Quadrature with index
Output Option	TTL & HTL TTL Line Driver Output [26LS31] Open Collector
Current Requirements	TTL: 80mA Max. No Load HTL: 120mA Max. No Load TTL Line Driver: 140mA Max. No Load Open collector: 80mA Max. No Load
Frequency Response	200 KHz [A, B and Index]
Electrical Connections	3.3 ft. Shielded Cable

Mechanical

Shaft Diameter	.2500/.2494", .3750/.3744", .5000/.4993", 8.000 mm/7.985 mm, 10.000 mm/9.985 mm
Shaft Length	.707.90"
Shaft Runout	.004" TIR Max.
Perpendicularity	.0012" TIR Max. Shaft to Mounting Surface
Shaft Axial Movement	Various, depending on PPR
Rated Speed	6,000 RPM
Acceleration Speed	1 x 10 ⁴ rad/sec ²
Moment of Inertia	2.7 x 10 ⁻⁴ oz.-in.-sec ² [up to 999 PPR] 4.5 x 10 ⁻⁴ oz.-in.-sec ² [1000 to 1800 PPR]
Weight	6 oz. Max. With 3.3 Ft. Cable

Environmental

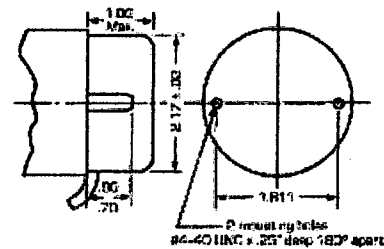
Temperature	Operating: 0 °C to +70 °C [TTL L/D] -10 °C to +70 °C [Other Outputs] Storage: -20 °C to +80 °C
Housing	Drop-Proof
Vibration	10 to 200Hz, .45G's
Shock	100G's for 6 ms 3 Times Each X, Y, Z Directions

SUMITAK
CORPORATION
OF AMERICA
1-800-35-SUMTAK
www.sumitak.com

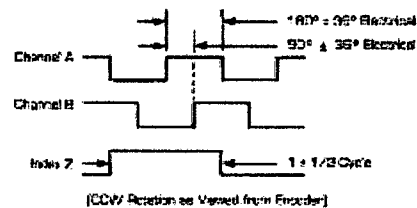
FEATURES

- 2.0" O.D., modular designed
- Self-aligning, -centering, -gapping
- 200 KHz frequency response
- Up to 2500 P/R
- Factory pre-assembled feature
U.S. patent no. 4556792
- Applications:
Computer Printer, Phototypesetter,
Semiconductor Processing, Tapetransport,
Digital Plotter, Medical Diagnostic Equipment

OUTLINE DIMENSIONS



OUTPUT WAVE FORMS



ELECTRICAL CONNECTIONS

Wire color	Standard Square Wave Output	Line Driver, Complementary Output
White	VCC	VCC
Black	0V	0V
Red	A	A
Pink	0V	A
Green	B	B
Blue	0V	B
Yellow	Z	Z
Orange	0V	Z
Shield	(use ground)	(use ground)

Note: By-pass capacity is connected between 0V and encoder body.

Installation Instructions Model LDA

GENERAL INFORMATION

The LDA encoder is designed for installation directly on the motor shaft. It provides a factory pre-assembled feature that eliminates the need for any adjustment of disc gap, disc alignment, symmetry and phasing while installing it on the motor shaft.

SPECIAL CARE FOR INSTALLATION

The encoder must be handled with care to avoid exposure to dust, dirt and grease, resulting in malfunction.

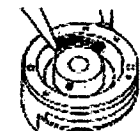
Extreme care is required for removing "MEMORY PLATE", since the encoder is preadjusted and pre-set with "MEMORY PLATE".

Necessary steps shown in assembly procedure must be taken before removing "MEMORY PLATE".

MOTOR MOUNTING REQUIREMENTS

Shaft Tolerance:	Squarewave	1/4", 3/8"+0, -.0006"
		1/2"+0, -.0007"
		8mm, 10mm+0, -.015mm
	Sinewave	1/4", 3/8"+0, -.0003"
		1/2"+0, -.0004"
		8mm, 10mm+0, -.009mm
Shaft Length		.707.90"
Mount Holes		#4-40 x .25" deep 2 holes 180° apart on 1.811" dia. ±.004" B.C.
Shaft Runout		.004" TIR Max.
Perpendicularity		.0012" TIR Max. [Shaft to Mounting surface]
Shaft End Play	1-200 PPR	.0216" (Max.)
	201-300 PPR	.0177"
	301-400 PPR	.0137"
	401-600 PPR	.0076"
	601-800 PPR	.0056"
	801-900 PPR	.0043"
	901-1200 PPR	.0036"
	1201-1600 PPR	.0020"
	1801-1800 PPR	.0015"
	1801-2048 PPR	.0012"
	2500 PPR	.0004"
		(Each Direction)

ASSEMBLY PROCEDURE



1. Apply tie-lock to two hex socket set screws placed on the side of hub. Be sure that the two set screws are loosened.



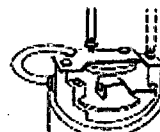
2. Place the encoder body over the shaft by holding the plastic ring underneath the "MEMORY PLATE", and press it into the mounting surface. Do not use force when you have difficulty in insertion. Forcing the insertion destroys all pre-adjustment precisely made by the factory. Check to see if the two set screws are loosened enough.



3. Apply tie-lock to the tip of #4-40 x 1 pan head screws provided, and fasten the encoder body to the mounting surface. FASTEN SCREWS ALTERNATELY. TIGHTEN WITH 5.2 in.lb.



4. Alternately fasten the two set screws provided on the side of the hub with 1.5mm hex key wrench to the motor shaft. TIGHTEN WITH 5.2 in.lb.
Be careful not to cut or pinch electrical circuits and not to put grease or dirt on circuit board while tightening screws.



5. Loosen the two philips screws above the plastic ring first, then remove the outside of the two philips screws.



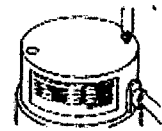
6. Remove the "MEMORY PLATE" with the plastic ring.
[Save the "MEMORY PLATE" for future removal and reinstallation of the encoder].



7. Place O-ring in the grooves of the encoder flange.



8. Apply silicon grease to the inside of the cover around the cut-end.
Place the cover so that the open-cut is placed over the lead cables.



9. Attach the cover with the two flat head machine screws provided. Tie-lock is to be applied.
TIGHTEN WITH 3.5 in.lb.

REMOVAL PROCEDURE

1. Rotate the hub so that the two set screws will position to loosen and tighten from the encoder side. Please note that you cannot loosen and tighten the two set screws from the encoder side if stop position of the hub is off 180°.
2. Align the two threaded holes of the hub with the two threaded holes of the housing.
3. Place the "MEMORY PLATE" over the housing and the hub.
4. Fasten the "MEMORY PLATE" with the four screws provided until the ring is snugly placed over the hub end.
5. Loosen the two set screws located on the side of the hub. You are now ready to remove the encoder.

It is not recommended that the encoder be removed and reinstalled unless absolutely necessary. The frequent removal and reinstallation may affect the electrical alignment.

ANEXO 3

Características de los frenos eléctricos.

Spring-Set Brake Modules Electrically Released Brakes

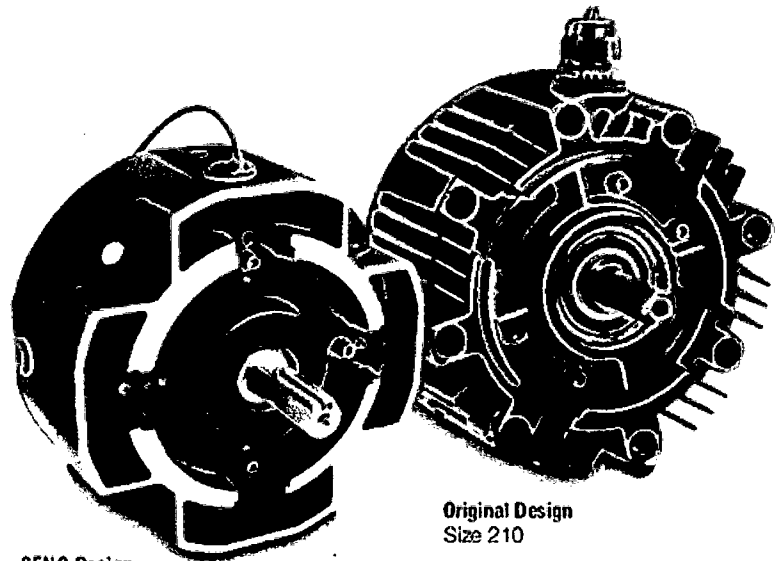
SSBM Series- EM/ERS

Packaged Spring-Set Brake Module for Holding Applications

The Spring-Set Brake Module is a NEMA C-face compatible unit designed to perform holding as well as occasional emergency stopping functions, making it particularly well-suited for motor brake applications. Because it is designed to be mounted on the front of a motor, it is an excellent choice for retrofitting an existing motor, or for use on custom designed machinery.

Features

- NEMA C-face compatible mounting
- Performs holding functions with occasional e-stops
- Completely assembled and preburnished at the factory
- Easy to install
- No adjustment required
- High torque, lead-free and asbestos-free friction material



GEN2 Design
Sizes 50 & 180

Original Design
Size 210

Principle of Operation

SSBM Brake torque is developed when springs apply a clamping force between the brake armature and the friction disc to the end plate. Spring clamping force provides the holding torque of the brake.

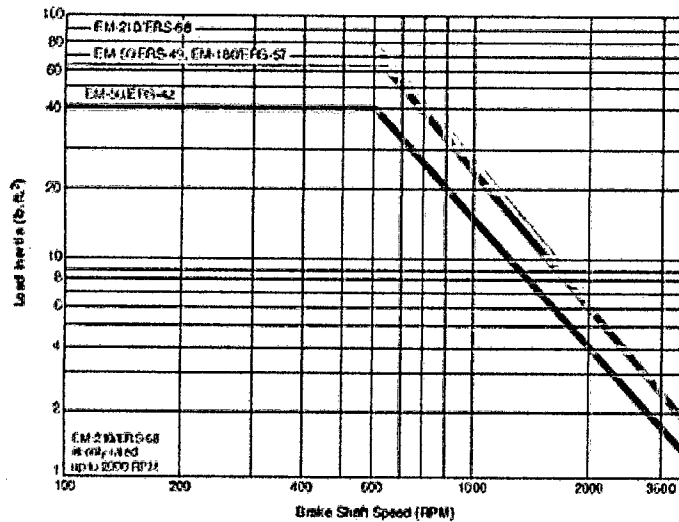
To release the brake, electrical power is applied to the magnet coil, generating a magnetic attractive force between the armature and magnet. The magnetic force overcomes the spring action, allowing the friction disc to rotate freely.

Specifications

Model	NEMA Frame Size	Holding Torque (ft-lbs)	Max RPM	Unit Weight (lbs)	Unit Inertia (lb-in ²)	Voltage (DC)	Power (Watts)	Current (Amperes)	Resistance (Ohms)	GEN 2 Part Number	Original Part Number
EM-50/ERS-42	56C/48Y	7.0	3600	6.4	.285	24	23.3	0.973	24.67	5370-170-201	5370-170-122
						90	21.5	0.239	376.2	5370-170-203	5370-170-123
EM-50/ERS-49	56C/48Y	15.0	3600	8.2	.673	24	27.3	1.136	21.12	5370-170-206	5370-170-124
						90	25.8	0.287	313.6	5370-170-207	5370-170-125
EM-180/ERS-57	182C/143TC	34.0	3600	10.4	.955	24	36.2	1.510	15.90	5370-170-211	5370-170-126
	184C/145TC					90	35.2	0.391	230.1	5370-170-212	5370-170-127
EM-210/ERS-68	213C/182TC	100.0	2000	24.7	3.842	24	54.9	2.286	10.50		5371-170-042
	215C/184TC					90	51.9	0.577	155.9		5371-170-043

Spring-Set Brakes Electrically Released Brakes

Emergency Stop Selection Chart



Actual stopping times depend on application variables, which include brake temperature, electrical suppression (see the brake apply time data below), manufacturing tolerances, friction material wear, etc. For this reason, specific stop times should be evaluated under actual application conditions.

If your application has special requirements, please call Warner Electric Technical Support.

5. Select Control

Consult the Controls Section on page 201 for control product overview. The holding torque for a SSBM is not adjustable; therefore, an adjustable torque control is not required.

4. Stopping Time

In some applications, it is desirable to know how fast a brake will bring a load to rest.

The time to stop a load can be determined if the system inertia and brake holding torque are known, according to the following equation:

Where: $t = (WR^2N)/(308T)$

t = time to stop the load in seconds (sec.)

WR^2 = system inertia at the brake location in pound-feet squared (ft.lb²)

N = speed of the brake shaft in revolutions per minute (RPM)

T = rated brake holding torque in foot-pounds (ft.lb.)

Special Requirements

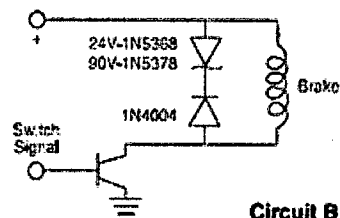
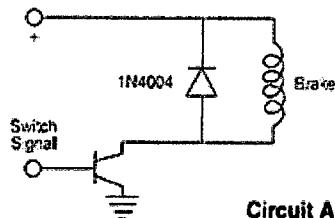
SSBM brake modifications, such as special voltages, rear motor mounting, and low torque units are available.

Contact Warner Electric Technical Support at 800-825-9050.

Brake Apply/Release Time (Typical Values)

Model	Brake Release Time (Seconds)		Brake Apply Time (Seconds)			
			Suppression Circuit A		Suppression Circuit B	
	24V	90V	24V	90V	24V	90V
EM-50/ERS-42	0.05	0.06	0.10	0.10	0.01	0.02
EM-50/ERS-49	0.07	0.08	0.15	0.15	0.02	0.02
EM-180/ERS-57	0.11	0.11	0.15	0.15	0.02	0.02
EM-210/ERS-68	0.16	0.20	0.20	0.20	0.03	0.03

Note: Release and Apply Times are a mixture engagement and release only.



ANEXO 4

Tabla de códigos y significado que se expone en el panel de estado del controlador C500.

Código	Secuencia
FF	Problema con el acceso a la memoria (intento fallido de usar la pila (stack) para bifurcación de procedimiento)
ED	incapaz de inicializar el microcircuito 80287
EC	Incapaz de inicializar la tabla de vectores
EA	Incapaz de inicializar la base de datos para diagnósticos
E9	Incapaz de inicializar el hardware
E8	Todas las pruebas de diagnóstico fueron pasadas y un mensaje de diagnóstico de inicio de sesión es desplegado en la pantalla del aparato #1
AF	Incapaz de leer bloque de memoria **FLASH**
AE	Incapaz de inicializar subsistema digital de entradas y salidas (I/O)
AC	Incapaz de inicializar el espacio vectorial o de inicializar el microcircuito 80287
AB	Incapaz de inicializar la base de datos de software
AA	Incapaz de inicializar los dispositivos de hardware
A9	Incapaz de inicializar la red del transputador
A8	Incapaz de inicializar los cronometradores de tiempo(timers) del sistema
A7	Problema detectado con la memoria disponible para el usuario
A3	Incapaz de activar los principales interruptores del sistema
A1	Todos los diagnósticos de verificación fueron pasados. El indicador que señala que RAPL está totalmente operativo, es desplegado en todos los aparatos en operación.

ANEXO 5

Características del Filtro 10ESK1.



Corcom Product Guide

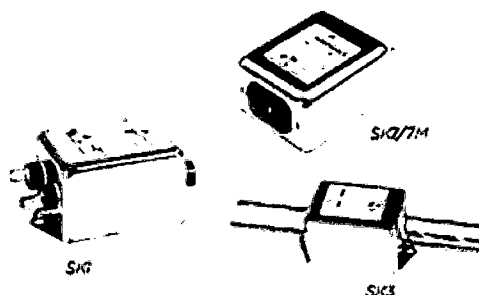
Catalog: 1654001
Issue Date: 06.2011

High Performance K Series RFI Line Filters for SMPS Emission Control

SK Series



UL Recognized
CSA Certified
VDE Approved



SK Series

- Designed to reduce conducted noise to acceptable limits for equipment that must comply with FCC / EN specifications
- Utilizes significantly higher element values than the general purpose K Series which makes them better suited for equipment with Line to Ground and Line to Line conducted emissions including those with switching power supplies
- ESK6C and VSK6C incorporate separate ground circuit inductor to isolate the equipment chassis from power line ground at RF frequencies

Ordering Information

10 E SK 7 M

Suffix

- M - Metric inserts (style 7 only)
- Omit for standard or none
- C - Ground choke (30ESK/VSK only)

Input / Output Style

- 1 - .250 [6.3] spade terminals
- 3 - Wire leads
- 6 - Threaded bolt
- 7 - IEC inlet* (line side)
- .250 [6.3] spade terminals (load side)

SK Series

Leakage current designation

- E - Low leakage (<0.5 mA)
- V - Standard

Current Rating

3, 6, 10, 20, 30 or 40A

Specifications

Maximum leakage current each Line to Ground:

3, 6 & 10A	VSK Models	ESK Models
@120 VAC 60 Hz:	.4 mA	.21 mA
@250 VAC 50 Hz:	.7 mA	.36 mA
20, 30 & 40A		
@120 VAC 60 Hz:	.75 mA	.3 mA
@250 VAC 50 Hz:	1.25 mA	.5 mA

Hipot rating (one minute):

Line to Ground:	2250 VDC
Line to Line:	1450 VDC

Rated Voltage (max):

250 VAC

Operating Frequency:

50/60 Hz

Rated Current:

3 to 40A

Operating Ambient Temperature Range

(at rated current I_r): -10°C to +40°C
In an ambient temperature (T_a) higher than +40°C the maximum operating current (I_o) is calculated as follows: $I_o = I_r \sqrt{(85 - T_a)/45}$

Available Part Numbers

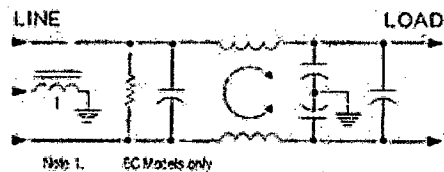
3VSK1	3ESK1	20ESK6
3VSK3	3ESK3	20VSK6
3VSK7	3ESK7	30ESK6
3VSK7M	3ESK7M	30ESK6C
6VSK1	6ESK1	30VSK6
6VSK3	6ESK3	30VSK6C
6VSK7	6ESK7	40VSK6
6VSK7M	6ESK7M	
10VSK1	10ESK1	
10VSK3	10ESK3	
10VSK7	10ESK7	
10VSK7M	10ESK7M	

*IEC 60320-1 C14 inlet mates with C13 connector

High Performance K Series Filters for SMPS Emission Control *(continued)*

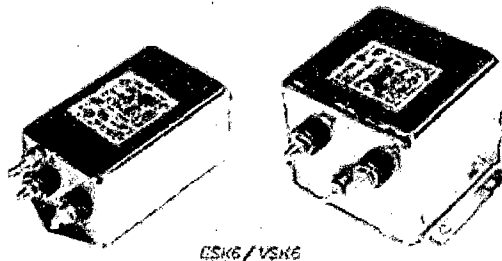
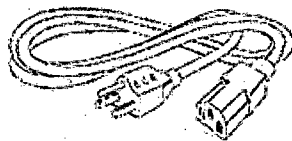
SK Series

Electrical Schematic



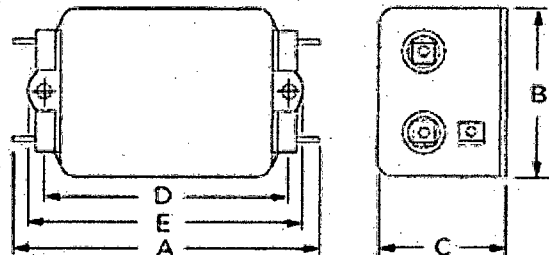
Accessories

GA400: NEMA 5-15P to IEC 60320-1 C-13 line cord



Case Styles

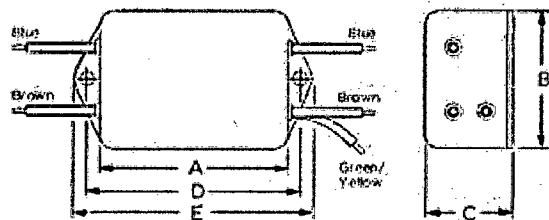
SK1



Typical Dimensions:

Line/Load Terminals (4): .250 [.63] with .07 [.7] Dia. hole
Ground Terminal (1): .250 [.63] with .07 x .15 [.8 x 3.8] slot
Mounting Holes (2): .188 [.478] Dia.

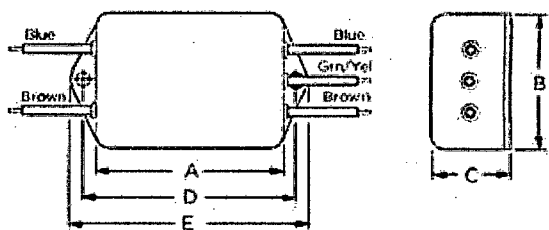
SK3 (3A)



Typical Dimensions:

Wire Leads (5): .40 [.10] Min., AWG18
Mounting Holes (2): .188 [.478] Dia.

SK3 (6 & 10A)



Typical Dimensions:

Wire Leads (5): .40 [.10] Min., AWG18 (AWG16 for 10A)
Mounting Holes (2): .188 [.478] Dia.

ANEXO 6

Características de los CI SG3524 y LM324.



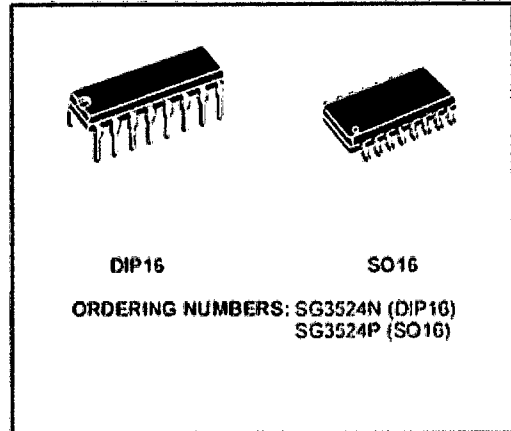
SG3524

REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

- COMPLETE PWM POWER CONTROL CIRCUITRY
- UNCOMMITTED OUTPUTS FOR SINGLE-ENDED OR PUSH PULL APPLICATIONS
- LOW STANDBY CURRENT 8mA TYPICAL
- OPERATION UP TO 300KHz
- 1% MAXIMUM TEMPERATURE VARIATION OF REFERENCE VOLTAGE

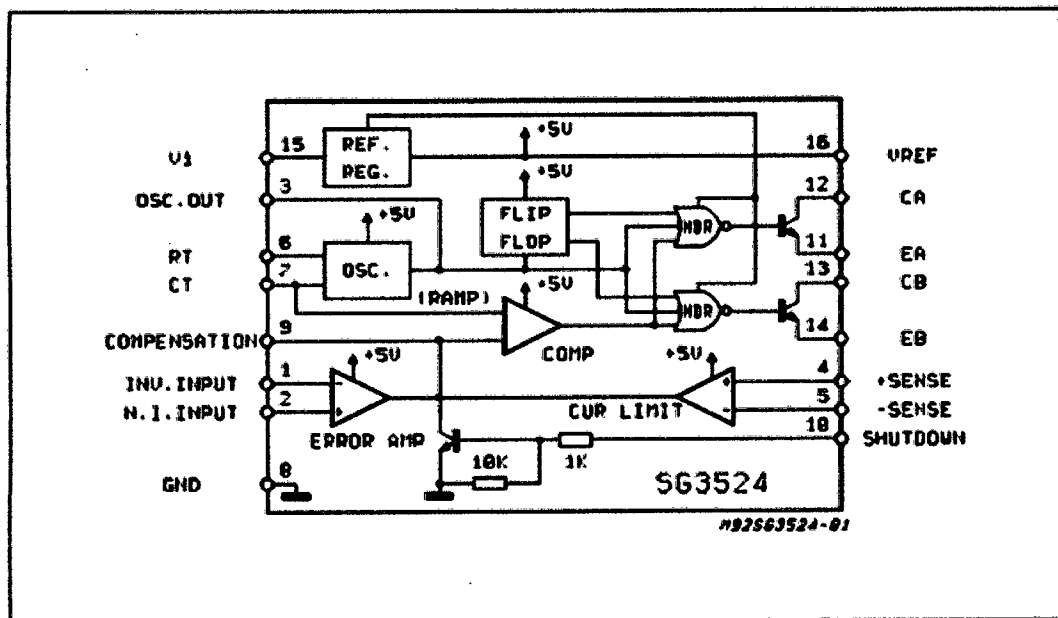
DESCRIPTION

The SG3524 incorporates on a single monolithic chip all the function required for the construction of regulating power supplies inverters or switching regulators. They can also be used as the control element for high power-output applications. The SG3524 family was designed for switching regulators of either polarity, transformer-coupled dc-to-dc converters, transformerless voltage doublers and polarity converter applications employing fixed-frequency, pulse-width modulation techniques. The dual alternating outputs allows either single-ended or push-pull applications.



Each device includes an on-ship reference, error amplifier, programmable oscillator, pulse-steering flip flop, two uncommitted output transistors, a high-gain comparator, and current-limiting and shut-down circuitry.

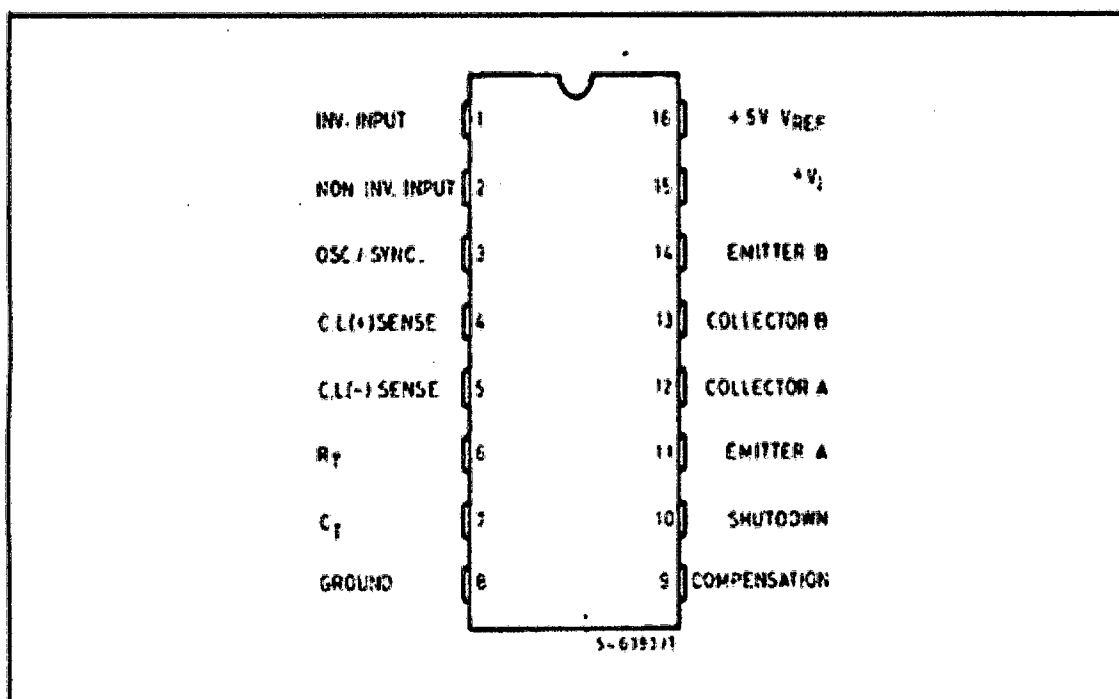
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{AI}	Supply Voltage	40	V
I_C	Collector Output Current	100	mA
I_R	Reference Output Current	50	mA
I_T	Current Through C_T Terminal	-5	mA
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{amb} = 70^\circ\text{C}$	1000	mW
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^\circ\text{C}$
T_{op}	Operating Ambient Temperature Range:	0 to 70	$^\circ\text{C}$

PIN CONNECTION (Top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		DIP16	SO16	Unit
$R_{\theta ja, no}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	80	-	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta ja, alumina}$	Thermal Resistance Junction-alumina (*)	Max.	-	50	$^\circ\text{C/W}$

(*) Thermal resistance junction-alumina with the device soldered on the middle of an alumina supporting substrate measuring 15 × 20mm, 0.65mm thickness with infinite heat sink.

LM124/LM224/LM324/LM2902

Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

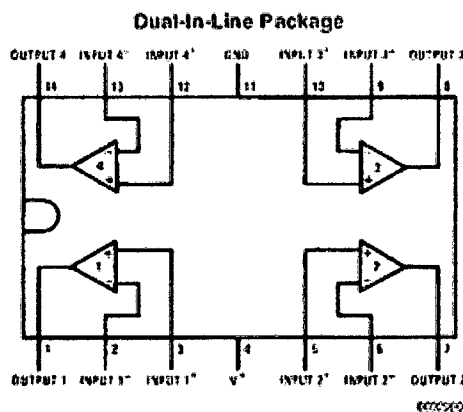
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply 3V to 32V
or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV and offset current 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to $V^+ - 1.5V$

Connection Diagrams



Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883 (Note 2), LM124AJ/883 (Note 1), LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M, LM324MX, LM324AM, LM324AMX, LM2902M, LM2902MX, LM324N, LM324AN, LM324MT, LM324MTX or LM2902N LM124AJRQML and LM124AJRQMLV (Note 3)
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

ANEXO 7

Características de los Mosfet utilizados en el proyecto.

IRF9530, RF1S9530SM

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	IRF9530, RF1S9530SM	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage (Note 1)	V_{DS} -100	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)	V_{DGR} -100	V
Continuous Drain Current	I_D -12	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D -7.5	A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM} -48	A
Gate to Source Voltage	V_{GS} ± 20	V
Maximum Power Dissipation	PD 75	W
Dissipation Derating Factor	0.6	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS} 500	mJ
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG} -55 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.	T_L 300	$^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg} 260	$^\circ\text{C}$

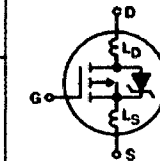
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. $T_J = 25^\circ\text{C}$ to $T_J = 125^\circ\text{C}$.

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = -250\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, (Figure 10)	-100	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, $I_D = -250\mu\text{A}$	-2	-	-4	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}$, $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	-25	μA
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_C = 125^\circ\text{C}$	-	-	-250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$, $V_{GS} = -10\text{V}$, (Figure 7)	-12	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = -6.5\text{A}$, $V_{GS} = -10\text{V}$, (Figures 8, 9)	-	0.250	0.300	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$, $I_D = -6.5\text{A}$ (Figure 12)	2	3.8	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = -12\text{A}$, $R_G = 50\Omega$, $V_{GS} = 10\text{V}$	-	30	60	ns
Rise Time	t_r	$R_L = 4.2\Omega$, (Figures 17, 18)	-	70	140	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$	MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	70	140	ns
Fall Time	t_f		-	70	140	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = -10\text{V}$, $I_D = -12\text{A}$, $V_{DSS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$, (Figure 14, 19, 20) Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	25	45	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}		-	13	-	nC
Gate to Drain ("Miller") Charge	Q_{gd}		-	12	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = -25\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$, (Figure 11)	-	500	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	300	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	100	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad	-	7.5	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	1.67	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Typical Socket Mount	-	-	62.5	$^\circ\text{C/W}$





IRF9540, SiHF9540

Vishay Siliconix

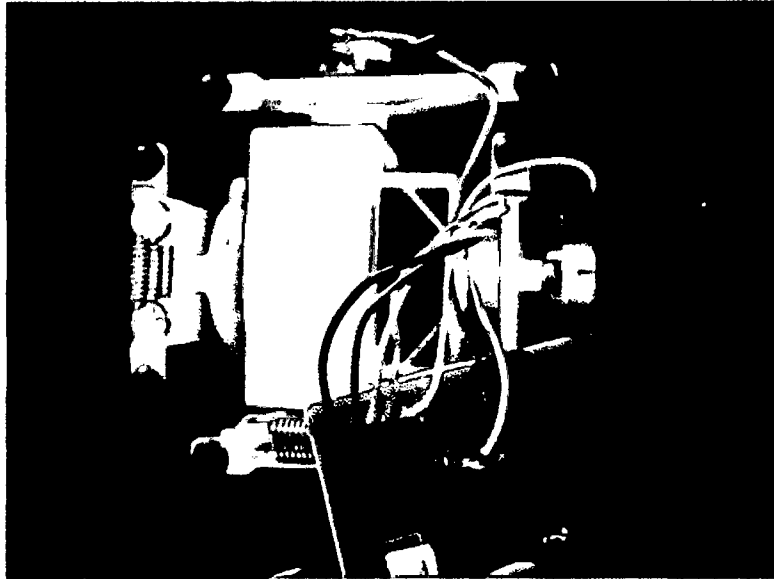


THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	$R_{\theta CS}$	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	$R_{\theta JC}$	-	1.0	

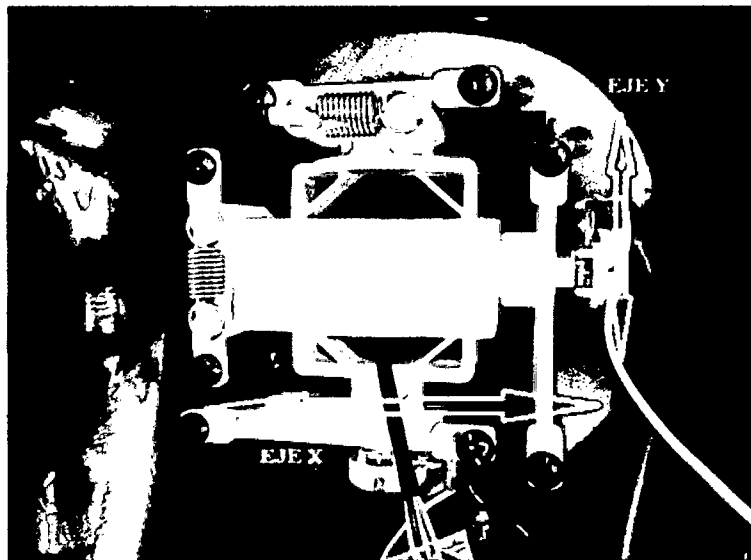
SPECIFICATIONS ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = -250\text{ }\mu\text{A}$	-100	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to 25°C , $I_D = -1\text{ mA}$	-	-0.067	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = -250\text{ }\mu\text{A}$	-2.0	-	-4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = -100\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	-100	μA
		$V_{DS} = -80\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 150^\circ\text{C}$	-	-	-500	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = -10\text{ V}$ $I_D = -11\text{ A}^b$	-	-	0.20	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = -50\text{ V}, I_D = -11\text{ A}^b$	0.2	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V},$ $V_{DS} = -25\text{ V},$ $f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	1400	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	590	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	140	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = -10\text{ V}$ $I_D = -19\text{ A}, V_{DS} = -80\text{ V},$ see fig. 6 and 13 ^b	-	-	61	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	14	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	29	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = -50\text{ V}, I_D = -19\text{ A},$ $R_g = 9.1\text{ }\Omega, R_D = 2.4\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b	-	18	-	ns
Rise Time	t_r		-	73	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	34	-	
Fall Time	t_f		-	57	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S		-	7.6	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode 	-	-	-10	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}		-	-	-72	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = -19\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	-5.0	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = -19\text{ A}, dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	130	290	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	0.35	0.70	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

ANEXO 8

Interior de los joysticks Genius Gamer utilizadas para el prototipo de ICORO.



En la imagen superior se muestra las líneas de señal del joystick estas pueden variar en número según el modelo, en la figura siguiente se muestra la posición de los potenciómetros y los ejes que están relacionados a ellos.



ANEXO 9

Características del DAC0808.



May 1999

DAC0808 8-Bit D/A Converter

General Description

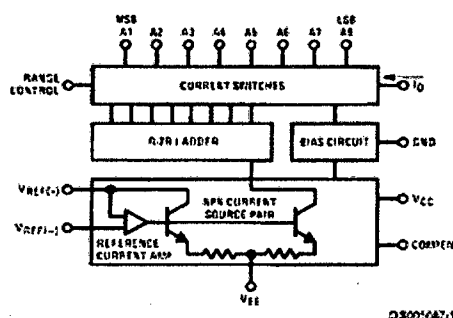
The DAC0808 is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with $\pm 5V$ supplies. No reference current (I_{REF}) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically ± 1 LSB of $255 I_{REF}/256$. Relative accuracies of better than $\pm 0.19\%$ assure 8-bit monotonicity and linearity while zero level output current of less than $4 \mu A$ provides 8-bit zero accuracy for $I_{REF} \geq 2$ mA. The power supply currents of the DAC0808 is independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or CMOS logic levels, and is a direct replacement for the MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

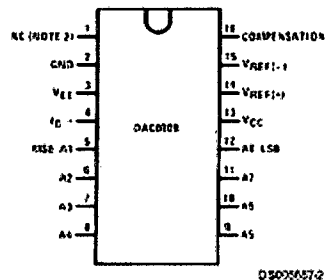
Features

- Relative accuracy: $\pm 0.19\%$ error maximum
- Full scale current match: ± 1 LSB typ
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ μs
- Power supply voltage range: $\pm 4.5V$ to $\pm 18V$
- Low power consumption: 33 mW @ $\pm 5V$

Block and Connection Diagrams



Dual-In-Line Package



Top View
Order Number DAC0808
See NS Package M16A or N16A

Electrical Characteristics (Continued)

($V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $V_{REF}/R14 = 2mA$, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	All Bits Low	$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -5V$		33	170	mW
		$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$		106	305	mW
	All Bits High	$V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -5V$		90		mW
		$V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$		160		mW

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 3: Range control is not required.

Note 4: The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is defined by T_{JMAX} , R_{JA} , and the ambient temperature, T_A . The maximum allowable power dissipation at any temperature is $P_D = (T_{JMAX} - T_A)/R_{JA}$ or the number given in the Absolute Maximum Ratings, whichever is lower. For this device, $T_{JMAX} = 125^\circ C$, and the typical junction-to-ambient thermal resistance of the dual-in-line J package when the board mounted is $100^\circ C/W$. For the dual-in-line N package, this number increases to $175^\circ C/W$ and for the small outline M package this number is $100^\circ C/W$.

Note 5: Human body model, $100pF$ discharged through a $1.5k\Omega$ resistor.

Note 6: All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated current.

Note 7: All bits switched.

Note 8: Pin-out numbers for the DAL050X represent the dual-in-line package. The small outline package pinout differs from the dual-in-line package.

Typical Application

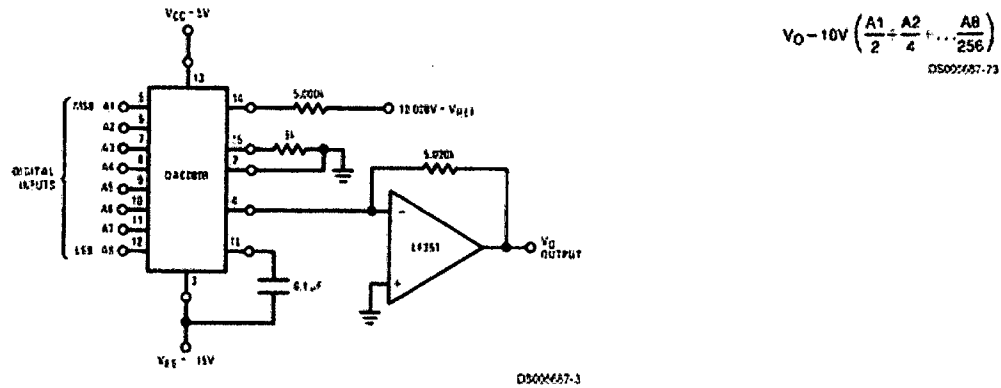
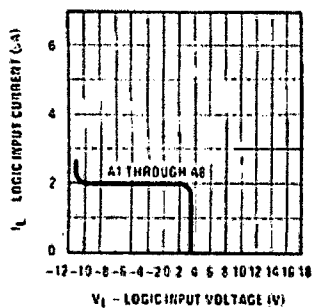


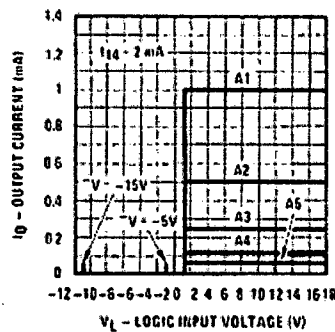
FIGURE 1. +10V Output Digital to Analog Converter (Note 8)

Typical Performance Characteristics $V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted

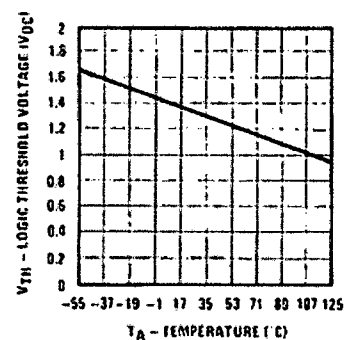
Logic Input Current vs Input Voltage



Bit Transfer Characteristics



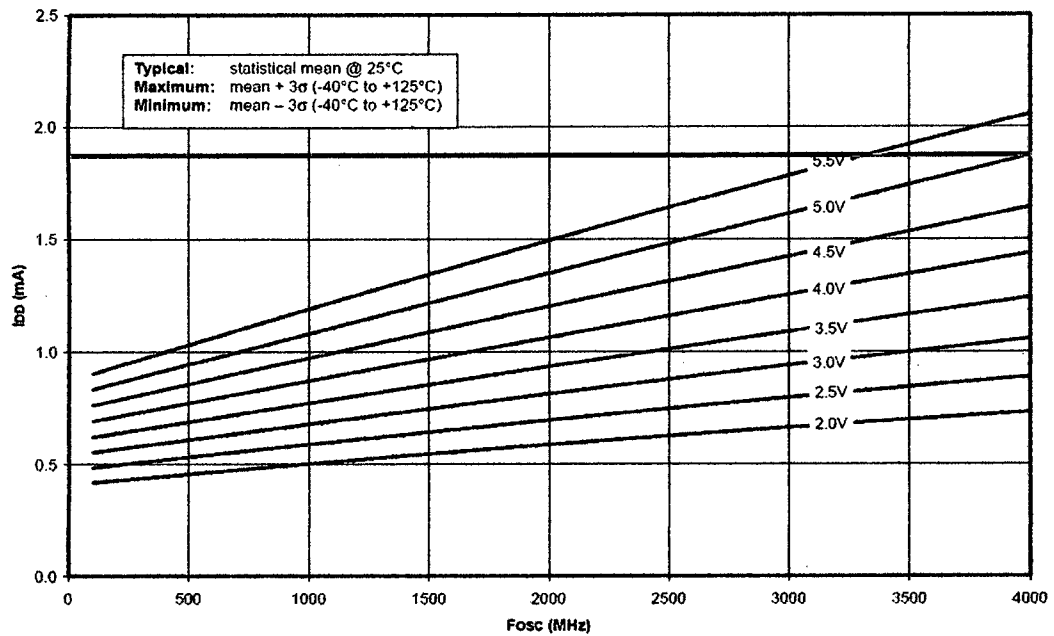
Logic Threshold Voltage vs Temperature



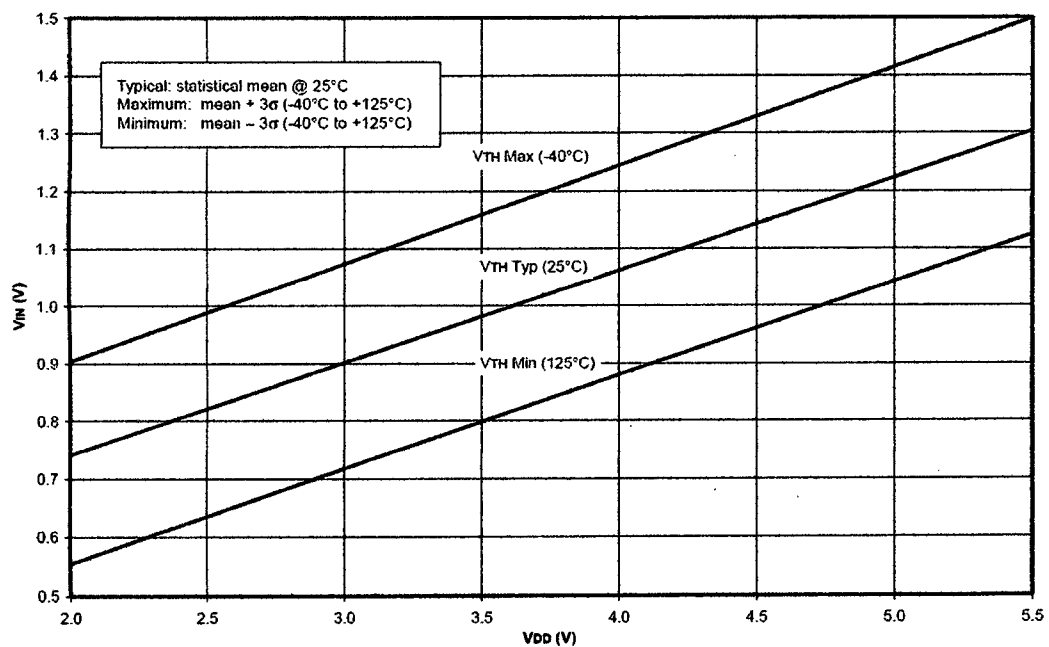
ANEXO 10

Niveles de corriente del microcontrolador PIC16F877A

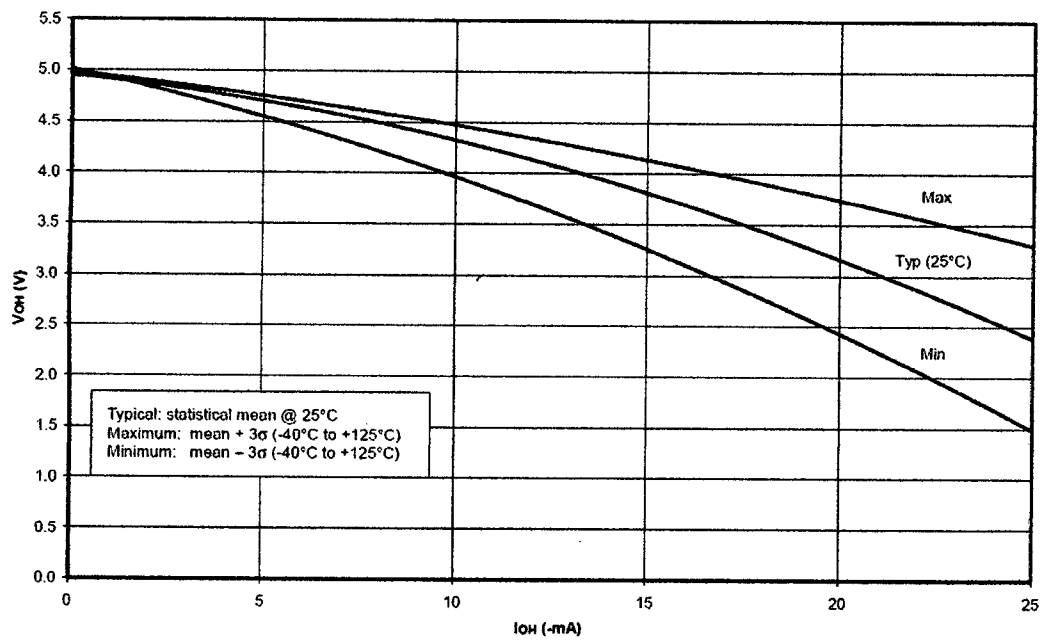
MAXIMUM I_{DD} vs. F_{osc} OVER V_{DD} (XT MODE)



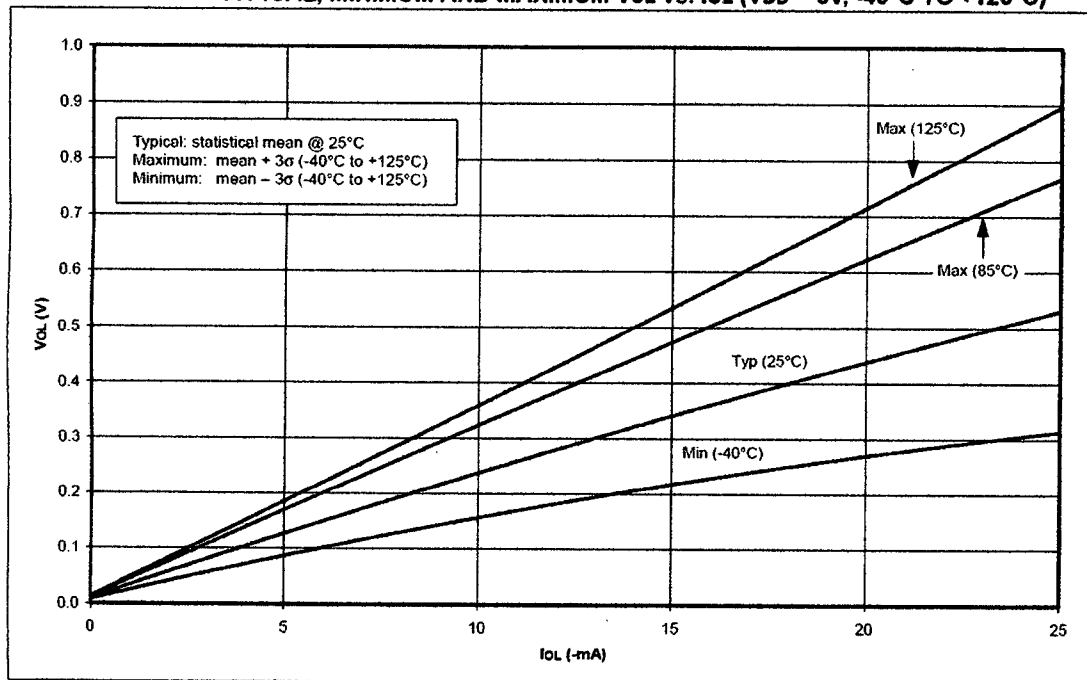
MINIMUM AND MAXIMUM V_{IH} vs. V_{DD} (TTL INPUT, -40°C TO +125°C)



TYPICAL, MINIMUM AND MAXIMUM V_{OH} vs. I_{OH} ($V_{DD} = 5V$, $-40^{\circ}C$ TO $+125^{\circ}C$)

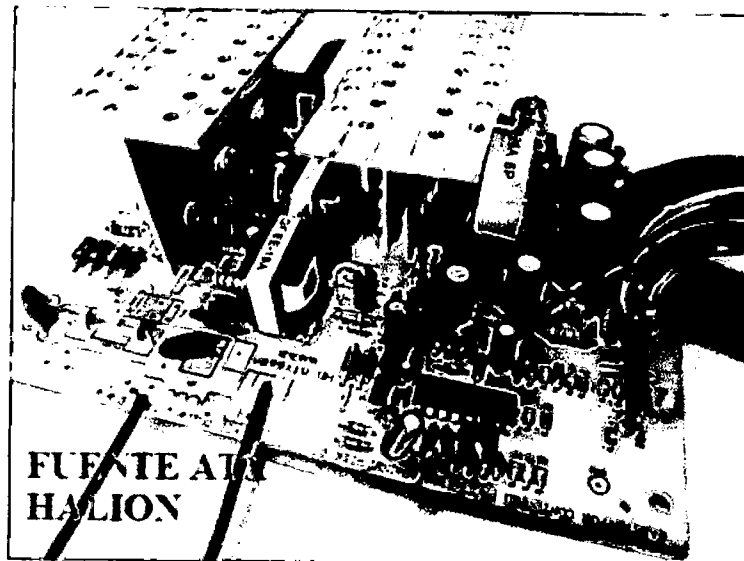


TYPICAL, MINIMUM AND MAXIMUM V_{OL} vs. I_{OL} ($V_{DD} = 5V$, $-40^{\circ}C$ TO $+125^{\circ}C$)



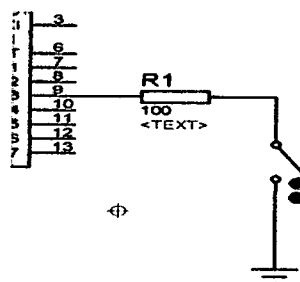
ANEXO 11

La fuente ATX.



La fuente ATX está diseñada para detectar una placa de ordenador para poder iniciar su funcionamiento, para nuestro controlador se tendrá que modificar la fuente para que esta se encienda con un switch externo y pueda alimentar a las PBC'S. El CI que gobierna la fuente es el PHYD4943D (Ver el datasheet del fabricante) este supervisa el encendido y genera el PWM de trabajo de la fuente, ofrece protección contra voltajes altos y bajos en las salidas.

El pin 9 posee la función REM Remoteon/off input controla el encendido y apagado de la fuente, esta función trabaja en bajo, se activara la fuente cuando REM=low y se apagara cuando REM=high esto permite el control de las salidas de voltaje.



Para activar la fuente pondremos el REM en bajo, llevando este a tierra común con un switch como el circuito de la figura anterior.

Glosario de siglas y abreviaturas

A255	Del inglés Arm model 255.
A/D	Analógico/ Digital.
AC	Del inglés Alternating Current (Corriente Alterna).
A.O. u OPAM	Amplificador operacional o del inglés operational amplifier.
AFRI	Asociación Francesas de Robótica Industrial.
ATX	Del inglés Advanced Technology Extended.
BIOS	Del ingles Basic Input/Output System,
C500	Del inglés Controller model 500.
CI	Circuito Integrado.
CPC-57, 24	Del inglés Connector Plastic Case.
CBx	Controller button.
DAC	Del inglés Digital Analog Converte, convertidor digital analógico.
DD-50S	Conector tipo DD de 50 Pines.
DB-25S	Conector tipo DB de 25 Pines.
DSP	<i>Del inglés</i> Digital Signal Processing (procesador digital de señales).
FPGA	<i>Del ingles</i> Field-Programmable Gate Array (FPGA)
<i>Gripper</i>	<i>Pinza.</i>
GPIO	Del inglés General Purpose Input Output.
Joysticks	Unión de dos palabras del inglés Joy and Sticks, (palanca de juegos).

Kg	Kilogramos.
MOSFET	Del inglés Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor o transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor.
mm	Milímetros
PC	Del inglés Personal Computer (computadora personal).
PHx	Puente H, x del 1 al 6.
P_Cx	Puerto C como salida digital.
P_Dx	Puerto D como salida digital.
Pinout	Referencia entre los contactos o clavijas de un conector eléctrico o componente electrónico y sus funciones.
PIC	Del inglés Peripheral Interface Controller.
PWM	Del inglés Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso).
SYSIO	Del inglés System Input Output.
VDD	Del inglés Drainage Voltage.
VSS	Del inglés Source Voltage.
UNP	Universidad Nacional de Piura.

Tesis presentada como requisito para optar el título de Ingeniero Industrial

Asesor:

Ing. Carmen Zulema Quito Rodríguez MSc.

Tesista

Bach. Mayra Milagros Marquina Eche.